المجلد 22 - العددان 9/8
أغسطس/ سبتمبر 2006

مجلة العلوم

الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهريا في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

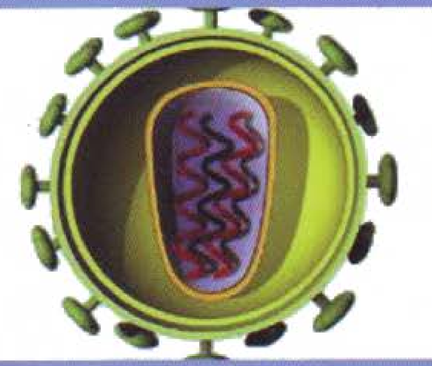
SCIENTIFIC AMERICAN
August/ September 2006



حماية تتعدى عالم الحيوان



إيقاف داء ألزهايمر



انقضاض جديد على فيروس الإيدز



لماذا تبدو بعض الحيوانات ذكية جداً؟

هل العولمة تساعد فقراء العالم أم قد تضر بهم؟

العددان 221/220 - السعر: 1.500 دينار كويتي

المقالات — ترجمة أو مراجعة

4



هل العولمة تساعد فقراء العالم أم قد تضر بهم؟
<P. باردان>

أديب كولو ـ عدنان الحموي

الجواب هو الاثنان معا. والسؤال الحقيقي هو كيف يمكن جعل الفوائد في حدها الأقصى والأضرار في حدها الأدنى.

10



تشكيل صورة لوجه جورج واشنطن في شبابه
<J. H. شوارتس>

محمد بسام الكردي ـ حاتم النجدي

تشبه صورة «جورج واشنطن»، وهو في أواسط عمره، الصورة الموضوعة على ورقة الدولار. لكن لا توجد أي لوحة تصوره وهو شاب. وهنا يستخدم خبير في علم الأصول البشرية الحاسوب لرسم صورة له.

18



انقضاض جديد على ڤيروس الإيدز
<G. ستيكس>

قاسم السارة ـ عدنان تكريتي

إن الأبحاث المتواصلة، التي أجريت حول مواطن الضعف في الڤيروس HIV (ڤيروس الإيدز)، تطرح أفكارا عن صنف جديد تماما من الأدوية العلاجية.

22





حماية تتعدى عالم الحيوان
<A. M. گولدبرگ> ـ <Th. هارتونگ>

محمد عصام آغا ـ محمد أبوحرب

غالبا ما تؤدي اختبارات السلامة الفائقة الدقة إلى فائدة غير متوقعة تقلل من معاناة الحيوان.

30





المصادر الخفية لألسنة اللهب الشمسية
<G. D. هولمان>

علاء إبراهيم ـ خضر الأحمد

لقد بدأ الباحثون يفهمون كيف يمكن لدينامية الحقل المغنطيسي الشمسي أن تثير انفجارات هائلة في جو الشمس.

«مجلة العلوم» تصدر شهريا في الكويت منذ عام 1986 عن «مؤسسة الكويت للتقدم العلمي»، وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت. وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. و«مجلة العلوم» هي في ثلاثة أرباع محتوياتها ترجمة لـ«ساينتفيك أمريكان» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم، وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية، وتوفير معرفة شمولية للقارئ المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «ساينتفيك أمريكان» بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيم للصور والرسوم الملونة والجداول.

38

إيقاف داء الزّهايمر

<S .M. وولف>

زياد القطب - عدنان الحموي

هذا المرض المدمر للذاكرة يتقدم عبر سيرورات جزيئية نوعية. ويمكن لمداخلات استراتيجية أن تصد هذه السيرورات.

46



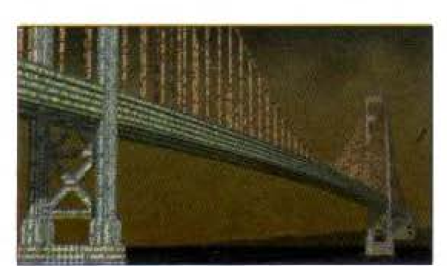
إحباط الإرهاب النووي

<A. كلازر> - <F .N. ڤون هيبل>

أسامة ربيع - أحمد فؤاد باشا

يحتوي الكثير من المفاعلات البحثية المدنية على يورانيوم عالي التخصيب يمكن أن يستغله إرهابيون في صنع قنابل نووية. ويجب بذل المزيد من الجهود لاحتواء هذا التهديد.

54





برمجيات تُصمَّم بحيث يعوَّل عليها

<D. جاكسون>

حاتم النجدي - عمر الفاروق المزري

سوف تساعد أدوات تحليلية قوية وجديدة على ضمان وثوقية البرامج الحاسوبية الضخمة التي تُشغِّل المصارف والاتصالات والنظم الصناعية الأخرى.

60





تملُّك مادة الحياة

<G. ستيكس>

هاني رزق - عبدالقادر رحمو

لم تتسبب براءات **الدنا** DNA في الإخلال بالأبحاث الطبية الحيوية والمعايير المجتمعية الذي توقعه الناقدون. ولكن الطوفان قد يكون في الطريق.

70



لماذا تبدو بعض الحيوانات ذكية جدا؟

<C. ڤان شيك>

جمال أبوسنة - زياد القطب

يوحي السلوك الاستثنائي للسَّعلاوات (قرود الأورانج أوتان) في أحد مستنقعات سومطرة بإجابة مدهشة عن هذا السؤال.

78 **معرفة عملية**

الكيمياء المحنكة في تكرير النفط الخام

80 **أخبار علمية**

- انقطاع التنفس الرُّقادي
- أقذ مما تتوهمه

هل العولمة تساعد فقراء العالم أم قد تضرُّ بِهم؟(*)

الجواب هو الاثنان معا. والسؤال الحقيقي هو كيف يمكن جعل الفوائد في حدها الأقصى والأضرار في حدها الأدنى.

<P. باردان>



اصبحت العولمة والقضايا الأخرى المرتبطة بها كالفقر وانعدام المساواة موضوع الساعة، لا تنافسها فيها أية قضايا اخرى باستثناء الإرهاب الدولي وارتفاع درجة حرارة الأرض. فمعظم الأشخاص الذين أعرفهم يحملون أفكارا راسخة عن العولمة، ومعظمهم يعبِّرون عن رغبتهم في تحسين أوضاع الفقراء في العالم. وتؤكد الصحف الاقتصادية العالمية والمسؤولون الدوليون بثقة أن الأسواق العالمية الحرة تعزز من فرص الفقراء في تحسين أوضاعهم، في حين يشدد مناهضو العولمة على الرأي المعاكس. ولكن عادة ما يكون رسوخ معتقدات الناس متناسبا عكسيا مع الدلائل الواقعية التي يدركونها.

وكما هو شائع في المناقشات العامة المثيرة للجدل، تفسر العولمة بمعان مختلفة، فالمؤيدون يفسرونها على انها تقانة الاتصالات وانتقال رأس المال، أو التعاقد مع الشركات المحلية في الدول الغنية؛ أما مناهضوها فيعتبرونها مرادفة للراسمالية أو للهيمنة الثقافية والاقتصادية الأمريكية. لذلك من الأفضل أن أوضح في بداية هذه المقالة أنني سأشير بشكل رئيسي إلى العولمة الاقتصادية؛ أي إلى توسع الاستثمارات والتجارة الدولية. ولكن السؤال هنا والذي يعتبر هذا من أهم الأسئلة في العلوم الاجتماعية اليوم هو كيف تؤثر هذه العملية في الأجور والدخول وحصول الفقراء على الموارد؟

بعد ربع قرن من انتهاء الحرب العالمية الثانية، قامت معظم الدول النامية في أفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية بحماية اقتصادها وعزله عن الاقتصاد العالمي، ومع ذلك، قامت معظم هذه الدول بفتح أسواقها منذ ذلك الحين. فعلى سبيل المثال، توسعت تجارة الخدمات والبضائع من الناتج الإجمالي الوطني (GPD) بين عامي 1980 و 2000: في الصين من 23% إلى 46%، وفي الهند من 19% إلى 30%. وقد سببت هذه التغيرات

(*) DOES GLOBALIZATION HELP OR HURT THE WORLD'S POOR?

العـديد من المصـاعب للفـقـراء في الدول النامـيـة، ولكنهـا في الوقت نفسـه طرحت العديد من الفرص التي استفادت منها بعض الدول ولم تسـتـفد منها دول أخرى، وذلك من خلال الاعتماد بشكل كبير على مؤسساتهم الاقتصادية والسياسية الوطنية (ويطبق هذا أيضا على العاملين ذوي الأجور المنخفضة في الولايات المتـحـدة الأمـريكيـة، مع أن تأثيرات العولمة في الدول الغنية تتجاوز نطاق هذه المقالة). وتعتبر المحصلة الصافية في معظم الأحوال عملية معقدة وسياقية[1]، تناقض التصريحات السطحية التي تؤيد أو تعارض العولمة. ومن هنا يعتبر إدراك مثل هذه التعقيدات أساسيا لاتخاذ الإجراءات الفعالة في هذا المضمار.



حقول الرز، مقاطعة جيانكزي، الصين، أوائل التسعينات.

ليست بلاء ولا دواء(*)

ترتكز حالة التجارة الحرة على المبدأ القديم المبني على المزايا التفضيلية، حيث يبنى هذا المفهوم على أن الدول تكون بوضع المنافع المحتملة والتكاليف الفعلية من التجارة وحول أهمية الحماية الاجتماعية للفقراء، وفي حين يعتقد مؤيدو التجارة الحرة أن تزايد موجة الاستثمار والتخصص العالمي يفيد الجميع، يشير آخرون إلى أن العديد من الفقراء لا يملكون القدرات على التكيف مع يعتبر النقاش الدائر بين الاقتصاديين نموذجا للتحضر مقارنة بما يدور في الشوارع، حيث يدعي مناهضو العولمة أنها تصب في صالح الأغنياء على حساب الفقراء، أما مؤيدوها فيؤكدون أنها تصب في مصلحة الفقراء أيضا. ولكن إذا ما نظرنا

يمكن إرجاع التناقص الكبير في معدلات الفقر المدقع في الصين إلى قانون الإصلاح الزراعي لعام 1978 وغيره من العوامل الداخلية، وليس نتيجة للخطوات الكبيرة التي تم اتخاذها في مجال التجارة الخارجية أو الاستثمارات.

أفضل عندما تقوم بتصدير السلع التي تتفوق بإنتاجها، وتستورد احتياجاتها الأخرى. وتؤيد جميع المناهج الاقتصادية السائدة هذا المبدأ، ولكن فيها مع ذلك اختلافات كبيرة في الآراء حول التوازن بين ظروف الأسواق المتغيرة. ويناقش هؤلاء الاقتصاديون أن منافع التخصص تتحقق على المدى الطويل، الذي من المفترض خلاله أن يكون الأشخاص والموارد قابلين للتأقلم بشكل كامل إلى الوقائع، بدت القضية أكثر تعقيدا. فالبنك الدولي يقدر، بالاعتماد على بيانات المسح الأسري التي جمعت من قبل منظمات مختلفة، أن نسبة ضئيلة من السكان في الدول النامية تعيش تحت خط الفقر المحدد بدولار واحد في اليوم (وفقا لأسعار عام 1993): ووفقا لنفس المعيار، فإن الفقر المدقع يتضاءل بالمجمل.

ويظهر هذا الاتجاه على وجه الخصوص واضحا في جنوب شرق آسيا، فقد تضاءلت معدلات الفقر بشكل كبير في الصين والهند وإندونيسيا ـ وهي الدول التي تميزت اقتصاداتها لفترة طويلة بالفقر الريفي المدقع،

نظرة إجمالية: العولمة والفقر(**)

- **يعتبر توسع التجارة الدولية والاستثمارات من أهم الاتجاهات السائدة في الوقت الحاضر. ولكن يميل صانعو السياسات إلى مناقشتها من دون مراجعة دقيقة للدلائل المتوافرة في العلوم الاجتماعية.**
- **نظرا لأن الحقبة الحالية للعولمة تزامنت مع الانخفاض المستمر في نسبة الأشخاص الذين يعيشون في فقر مدقع، يمكن الاستنتاج أن العولمة بمجملها لا تجعل الفقراء أكثر فقرا. وعلى السواء، ليس لها نصيب كبير في تخفيض معدلات الفقر، الذي تمّ في حالات عديدة قبل تحرير التجارة.**
- **إن الدول التي تعزز الحقوق الاقتصادية الأساسية ـ تحسين البنية التحتية، ضمان الاستقرار السياسي، تنفيذ الإصلاح الزراعي، توفير شبكات الأمان الاجتماعي، التصدي لعوائق السوق مثل عدم القدرة على الحصول على قروض ـ تكون أكثر نجاحا في تخفيض معدلات الفقر. ومع أنه يمكن للعولمة أن تساعد في هذا المضمار، فإنها لن تكون سوى عامل من بين العديد من العوامل.**

(*) Neither Plague nor Panacea

(**) Overview: Globalization and Poverty

(1) context-dependent أو تعتمد على السياق



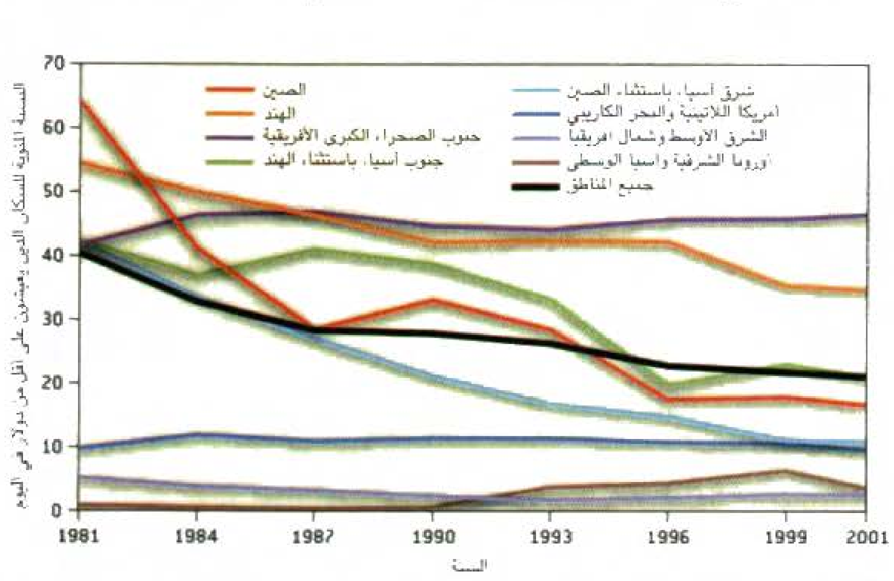
البَنْد، شانغهاي، 1999

وتشكل بمجموعها حوالي نصف مجموع سكان الدول النامية ـ فبين عامي 1981 و2001، تناقصت نسبة الريفيين الذين يعيشون على أقل من دولار واحد في اليوم من 79% إلى 27% في الصين، ومن 63% إلى 42% في الهند، ومن 55% إلى 11% في أندونيسيا.

لكن مع أن الفقراء بمجملهم لا يزدادون فقرا، لم يستطع أحد أن يبرهن بشكل مقنع على أن التحسن في أوضاعهم يعزى إلى العولمة بصورة رئيسية. ففي الصين على سبيل المثال، يمكن إرجاع تناقص معدلات الفقر إلى عوامل داخلية، مثل توسع البنية التحتية وقانون الإصلاح الزراعي لعام 1978 (والذي تم من خلاله تفكيك الكوميونات العائدة لحقبة ماو)، والتغيرات في أسعار شراء الحبوب، إضافة إلى تخفيف القيود المفروضة على الهجرة من الريف إلى المدينة. وفي الواقع، فقد حدث تناقص كبير في معدلات الفقر في أواسط الثمانينات، وذلك قبل الخطوات الكبيرة التي تم اتخاذها في مجال التجارة الخارجية أو الاستثمار. فثلاثة أرباع ما ينوف على الـ400 مليون صيني الذين تم انتشالهم فوق خط الفقر العالمي بين عامي 1981 و 2001، جرى انتشالها بحلول عام 1987.

وبالمثل، يمكن إرجاع انخفاض معدل الفقر الريفي في الهند إلى انتشار الثورة الزراعية، والبرامج الحكومية للتصدي للفقر والحركات الاجتماعية، وليس إلى إجراءات تحرير التجارة في التسعينات من القرن الماضي. ففي أندونيسيا، أدت الثورة الزراعية والسياسات الاقتصادية الكبرى واستقرار أسعار الأرز والاستثمارات الهائلة في البنية الزراعية التحتية، دورا كبيرا في تخفيض معدلات الفقر في الأرياف. وبالطبع، أسهمت العولمة من خلال توسيع فرص العمل في مجال التصنيع المعتمد على الأيدي العاملة الكثيفة، في انتشال العديد من الصينيين والأندونيسيين من دوامة الفقر منذ أواسط الثمانينات (وهذا لا ينطبق بعد على الهند لأسباب مؤسساتية وسياسيّة داخلية عديدة). لكن ثمة سبب واحد من بين العديد من الأسباب التي تفسر التقدم الاقتصادي في السنوات الخمس والعشرين الماضية.

إن المشككين في فوائد العولمة يشيرون إلى أن نسبة الفقر بقيت لفترة طويلة مرتفعة في جنوب الصحراء الكبرى الأفريقية، فبين عامي 1981 و 2001، ازدادت نسبة الأفارقة الذين يعيشون تحت خط الفقر من 42% إلى 47%، ولكن يبدو أن هذا التزايد في نسبة الفقراء يمكن إرجاعه إلى عدم استقرار الأنظمة السياسية أو فشلها أكثر من كونه نتيجة للعولمة. كما أن تخوف المستثمرين والتجار من عدم الاستقرار هذا قد أضعف من تأثيرات العولمة. ثم إن السياسات غير المستقرة قد أسهمت في تضخيم العوامل الطويلة الأمد، مثل العزلة الجغرافية وانتشار الأمراض والاعتماد المفرط على مجموعة محدودة من السلع التصديرية والانتشار البطيء للثورة الزراعية [انظر: «هل يمكن *القضاء على الفقر المدقع*؟»، **العلوم**، العدد 5 (2006)، ص 16].



لقد أصبح الفقر المدقع أقل انتشارا على مر العقدين الماضيين، ومن ضمنها الحقبة التي سادت فيها العولمة. لذلك، من الخطأ الادعاء، كما يفعل الكثيرون، أن العولمة تجعل الفقراء أكثر فقرا. فالدول التي تأثرت بالركود الاقتصادي، وبشكل خاص في أفريقيا، كانت معزولة عن الاقتصاد العالمي. لذا فإن مصائب هذه الدول تُردُّ إلى أسباب أخرى

مصانع يكدح فيها العمال بأجور زهيدة(*)

إن المنافسة في الأسواق الدولية تُجزي الأشخاص ذوي المبادرات والمهارات والمعلومات. ويعوق الفقراء في كل مكان عدم حصولهم على التمويل اللازم لمشروعاتهم والاستفادة من الفرص المتاحة لتعلمهم مهارات جديدة. كما أن العمال في بعض الدول النامية - وعلى سبيل المثال لا الحصر، المكسيك - أخذوا يخسرون وظائفهم في الصناعات التي تعتمد على الأيدي العاملة الكثيفة لصالح نظرائهم في آسيا. وفي الوقت نفسه، أسهمت الاستثمارات الأجنبية في طرح فرص عمل جديدة. وعموما، تبدو تأثيرات العولمة هي تحسن صاف. ففي المكسيك، تتضاءل نسبة الفقر في المناطق التي انخرطت أكثر من غيرها في الاقتصاد العالمي، مع أن الفنيين والمهرة يهاجرون إلى تلك المناطق، مما يحسّن دخولهم بصورة مستقلة عما تحققه العولمة. فلقد أظهرت دراسة أجراها <G. هانسون> [من جامعة كاليفورنيا - سان دييگو]، أخذت بعين الاعتبار فقط الأشخاص الذين ولدوا في منطقة معينة (لذا لم يُدخَل المهاجرون في عداد هؤلاء) أن متوسط الدخل خلال التسعينات في الولايات المكسيكية الأكثر تأثرا بالعولمة، ازداد بنسبة 10% أكثر من زيادته في تلك الولايات الأقل تأثرا.

وفي اقتصادات آسيا الفقيرة - على سبيل المثال، بنغلادش وفيتنام وكمبوديا - يعمل عدد كبير من النساء في معامل تصدير الألبسة، حيث تعتبر دخولهن حسب المعايير العالمية قليلة ولكنها أكثر من تلك الدخول التي سيحصلن عليها من العمل في مهن أخرى. لذلك يجب على المدافعين عن حقوق العمال الذين يساورهم القلق على أحوالهم أن يقدروا التحسن النسبي في ظروف وأحوال النساء. فقد استشهد تقرير لأوكسفام (وهو اتحاد دولي لمنظمات غير حكومية يعمل على محاربة الفقر في العالم) بسيدة تبلغ من العمر 23 عاما وتعمل في



لاجئون من بورما في معمل صناعة ألبسة، ماي سوت، تايلاند، التسعينات.

صناعة الملابس بقولها:

«هذا العمل مرهق ولا تتم معاملتنا بإنصاف. فالمديرون لايحترموننا كنساء، ولكن الحياة أصعب بالنسبة إلى أولئك الذين يعملون خارج المصنع. ففي قريتي، سأحصل على دخل أقل، ويحصل أولئك الذين يبيعون في الشوارع أو الذين يحملون الآجر إلى مواقع البناء على أجر أقل. هنالك خيارات قليلة أخرى. وبالطبع أود أن تتاح لي ظروف أفضل. ولكن هذا العمل يضمن لي إطعام أولادي وتحسُّن ظروف حياتهم.»

وفي عام 2001، قامت كل من <نايلة كبير> [من جامعة ساسكس في بريطانيا] و<سيمين محمود> [من معهد بنغلادش للدراسات التنموية] بإجراء مسح شمل 1322 امرأة عاملة في داكا، حيث وجدتا أن متوسط الدخل الشهري للعاملات في صناعة الملابس كان أعلى بنسبة 86% من متوسط دخل العاملات الأخريات اللاتي يعشن في أحياء الصفيح نفسها.

ويمكن إعطاء دليل آخر على مثل هذا التحسن النسبي في أوضاع العاملين عندما تتلاشى مثل هذه الفرص. ففي عام 1993، واستباقا للحظر الأمريكي على الواردات التي يتم تصنيعها من قبل عمال أطفال، تم طرد نحو 50 ألف طفل يعملون في صناعة الملابس في بنغلادش، وقد قامت كل من اليونيسيف وجماعات المساعدة المحلية بالتحقيق في نتائج هذا الإجراء، فوجدوا أن 10 آلاف طفل من هؤلاء عادوا إلى مقاعد الدراسة، ولكن البقية أخذت تعمل في مهن أدنى، من ضمنها مكاسر الحجارة والدعارة. ولكن هذا لا يبرر ظروف العمل المروعة في المصانع. حتى وإن تجاهلنا حالات العمل القسري أو ظروف العمل غير الآمنة، ولكن يجب على مؤيدي العولمة إدراك فرص العمل المتاحة للفقراء، والنتائج المحتملة غير المقصودة لسياسات «التجارة المنصفة»(1) fair trade.

الجذور المحلية للفقر(**)

لا يجلب الاندماج في الاقتصاد العالمي المكاسب فقط وإنما أيضا العديد من المشكلات. فحتى لو كانت فرص العمل الجديدة التي يجلبها هذا الاندماج أفضل من القديمة، فإن التحول يمكن أن يكون موجعا. فمعظم الدول الفقيرة توفر حماية اجتماعية ضعيفة الفعالية لمساعدة الفقراء الذين فقدوا وظائفهم ولم يستطيعوا إيجاد البديل. أضف إلى ذلك، فإن أعدادا كبيرة من الفقراء تعمل في مزارعها الصغيرة أو مشاريعها العائلية حيث معظم المشكلات التي تواجهها محلية، مثل، عدم قدرتهم على الحصول على قروض، وضعف البنية التحتية وفساد المسؤولين الحكوميين، وعدم أمان حقوق

(*) Sweatshops

(**) The Local Roots of Poverty

(1) التجارة التي تقوم على بيع السلع بسعر معين في كل مكان أو بسعر أعلى منه (التحرير)



بيت دعارة في جوار محطة ماهيم للقطارات، مومبي، الهند 2002.

حيازة الأراضي الزراعية. وتسهم الأنظمة السياسية الضعيفة وسوء توزيع الثروات وعدم كفاءة أو فساد السياسيين والمسؤولين الحكوميين في إعاقة استفادة الفقراء من الفرص المتاحة. لذلك فإن فتح الأسواق من دون تخفيف تلك القيود الداخلية يجعل وضع الفقراء أكثر سوءا.

وعلى العكس من ذلك، فإن فتح الاقتصاد أمام التجارة وتدفق رؤوس الأموال على المدى الطويل لا يفاقم من الوضع السيئ للفقراء إذا تم سن القوانين والسياسة (وخصوصا بسبب تركز الثروات والسلطات بأيدي حفنة قليلة)، لذلك بقيت الفلبين دولة نامية، في حين أصبحت كوريا الجنوبية في مصاف الدول المتطورة. لقد كانت بوتسوانا وأنغولا من الدول المصدرة للالماس، ولكن تعتبر بوتسوانا حاليا من الدول الديمقراطية السريعة النمو، في حين دمرت الحرب الأهلية أنغولا.

وتبرهن خبرات الدول على أنه ليس ثمة ما يدعو لأن تعمل قوى العولمة على إعاقة برامج محاربة الفقر، حيث لا توجد أية قواعد وتعزيز أطر المحاسبة الإدارية والسياسية؛ ولكن العوائق هي داخلية إلى حد بعيد. وعلى العكس، لا يؤدي الانغلاق الاقتصادي أمام التجارة العالمية إلى تقليل الفوائد المكتسبة للمالكين والسياسيين والأغنياء الذين يتمتعون بالدعم الحكومي. وعليه، لا تعد العولمة السبب الرئيس لمشكلات الدول النامية، خلافا لما يدعيه العديد من مناهضي العولمة - تماما كما لا تعتبر العولمة الحل الوحيد لتلك المشكلات، خلافا لزعم العديد من مؤيديها.

ولكن ماذا عن البيئة؟ يناقش العديد من المدافعين عن البيئة أن الاندماج في الاقتصاد العالمي يشجع على الاستغلال المفرط للموارد الطبيعية الشحيحة مثل الغابات ومصايد الأسماك وتدمير موارد أرزاق الفقراء، فتهمة شائعة توجه إلى الشركات التي تتجاوز حدود بلدانها(1) هي أنها تتسابق للاستثمار في الدول الفقيرة متجاهلة معايير حماية البيئة. وتكثر الروايات في هذا المضمار، لكن تمّ حولها إجراء عدد قليل من الدراسات الإحصائية. فقد اعتبرت إحدى هذه الدراسات

وفقا للمعايير العالمية، تعتبر أجور وظروف العمل في صناعة الملابس سيئة ولكنها أفضل من العمل في مهن أخرى كالخدمة في المنازل والدعارة.

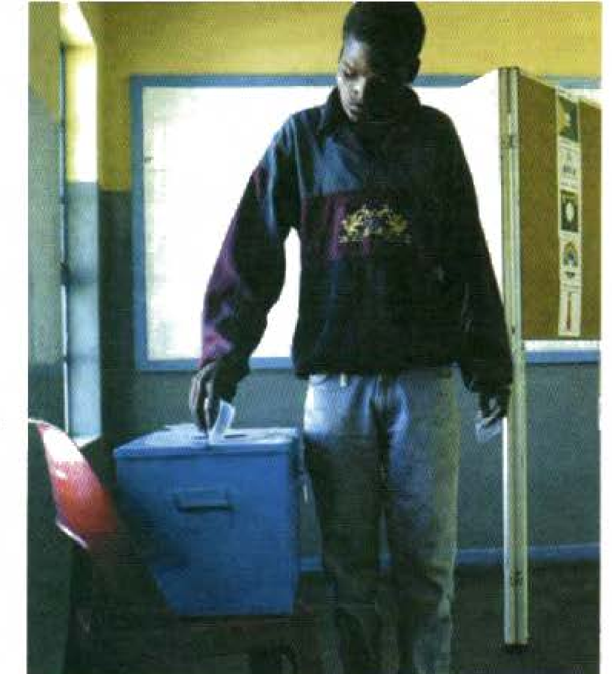
والتشريعات ووضع السياسات المناسبة، وخصوصا في إنتاج بضائع أكثر قابلية للتسويق وفي طرح فرص عمل جديدة.

ولقد برهنت الدراسات والأبحاث على صحة ذلك. فمع أن دخل الفرد في كل من اقتصادات موريتشوس وجامايكا كان متقاربا في أوائل الثمانينات، فقد تفاوت أداؤهما الاقتصادي تفاوتا كبيرا منذ ذلك الوقت، حيث تمتعت جامايكا بمؤسسات ديمقراطية وسيادة القانون، في حين غرقت موريتشوس في الجريمة والعنف. ومع أن دخل الفرد في كوريا الجنوبية والفلبين كان متقاربا في أوائل الستينات، لكن الفلبين تراجعت من حيث المؤسسات الاقتصادية يجب على الدول من خلالها التخلي عن برامج الحماية الاجتماعية لتدعم اقتصاداتها؛ ففي الواقع، يمكن أن تكون الأهداف الاقتصادية والاجتماعية داعمة بشكل متبادل. فالإصلاح الزراعي، وتوفير فرص الحصول على القروض والخدمات لصغار المنتجين، وإعادة التأهيل والتدريب، ودعم دخل العمال المهجّرين، وبرامج الأشغال العامة للعاطلين عن العمل، وتوفير التعليم الأساسي والخدمات الصحية يمكن أن تعزز إنتاجية العمال والمزارعين. ومن ثمّ تسهم في تعزيز القدرة التنافسية للدول على مستوى العالم. ويمكن أن تتطلب مثل هذه البرامج إعادة النظر بأولويات ميزانيات تلك الدول التي أعدتها عام 2003 <G. إيسكلاند> [من البنك الدولي] و<A. هاريسون> [من جامعة كاليفورنيا في بيركلي] في كل من المكسيك والمغرب وفنزويلا وساحل العاج، أن العامل الأكثر أهمية لاستثمار تلك الشركات في هذه الدول هو حجم أسواقها المحلية وليس التملص من تكاليف حماية البيئة المفروضة في الدول الغنية. ومن الملاحظ أنه في أية صناعة، تكون المصانع الأجنبية أقل تلويثا للبيئة من المصانع المحلية.

وعلى شاكلة الفقر المستمر، فإن المعايير غير الفعالة للحفاظ على البيئة هي في نهاية المطاف سياسة وطنية أو فشل مؤسساتي.

(1) transnational

لا تشرح العولمة الأقدار المختلفة لكل من بوتسوانا وأنغولا، وهما من الدول المصدرة للألماس، الأولى ديمقراطية والثانية دمّرتها الحرب الأهلية.



مركز اقتراع، كابورون، بوتسوانا، 2004

فغياب القوانين والتشريعات التي تحدد حقوق الملكية أو الموارد المشتركة يؤدي عادة إلى الإفراط في استغلال الموارد الطبيعية. فقد أدت الاستجابة لضغوط السياسيين المتنفذين إلى إجبار الحكومات على خفض أسعار الموارد الطبيعية الثمينة، مثل مياه الري في الهند والطاقة في روسيا، ومنح امتيازات الخشب في أندونيسيا والفلبين. وليس غريبا أن تكون النتيجة استنزاف الموارد. ومن المتوقع أن يؤدي فتح أسواق دولة من الدول من دون معالجة هذه الاحتلالات والتحريفات، إلى تفاقم المشكلات البيئية.

عندما يتيح النقاش المجال للعمل(*)

لحسن الحظ، فإن كلا من مؤيدي ومناهضي العولمة يطورون - ببطء إلى حد ما - نوعا من الاتفاق. ففي مجالات عديدة، يرى الطرفان أن ثمة إمكانية للتنسيق فيما بين الشركات التي تتجاوز حدود بلدانها، والمنظمات المتعددة التمويل وحكومات الدول النامية وجماعات العون المحلية وذلك في برامج تقديم المساعدات للفقراء. فتجاوز نقاط الخلاف والبناء على النواحي التي يتم الإجماع عليها والتعاون فيها يمكن أن تجعل الشراكات الدولية قادرة على التخفيف من وطاة الفقر الذي يستمر في ترك بصماته على حياة الملايين من الفقراء في العالم. ونورد هنا بعض الإجراءات التي ما تزال في طور النقاش.

التحكم في رأس المال. يتألف الاستثمار العالمي المتدفق من رأس المال الطويل الأمد (كالمعدات) ورأس المال القصير الأمد (كالأسهم والسندات والعملات) الذي يمكن عند سحبه فجأة أن يسبب أضرارا كبيرة للاقتصادات الهشة. ويمكن الاستشهاد على ذلك بالأزمة المالية التي ضربت آسيا في عام 1997، حيث ارتفع معدل الفقر في الريف التايلاندي إلى نحو 50% في أقل من سنة نتيجة ممارسات المضاربين في العملة التايلاندية (البات)، وأدى السحب الجماعي لرأس المال القصير الأمد في أندونيسيا إلى انخفاض حقيقي في الأجور في قطاع الصناعة إلى نحو 44%. وحاليا، يرى العديد من الاقتصاديين (ومن ضمنهم أولئك الذين يؤيدون التجارة الحرة) ضرورة وجود نوع من الضوابط على تدفق رأس المال القصير الأمد، وخصوصا إذا ما كانت المؤسسات المالية الوطنية والمعايير المصرفية ضعيفة. ويعتقد الكثيرون أن كلا من الصين والهند وماليزيا استطاعت تفادي عبء الأزمة المالية التي ضربت آسيا بفضل وجود ضوابط صارمة على هروب رأس المال. ولكن مازال الاقتصاديون يختلفون حول أشكال تلك الضوابط ومدى تأثيرها في تكلفة رأس المال.

تخفيض الحماية على الإنتاج الوطني. تتجلى أهم العوائق التي يواجهها العديد من الدول الفقيرة في عدم اندماجها في الاقتصاد العالمي وليس نتيجة اندماجها فيه. فمن الصعب على الفقراء في العالم الخروج من دوامة الفقر عندما تقيد الدول الغنية (وكذلك الدول الفقيرة نفسها) الواردات وتدعم مزارعيها ومصنعيها. وتقدّر خسائر الدول النامية من الرسوم الزراعية والدعم الحكومي في الدول الغنية بنحو 45 بليون دولار، وخسارتهم السنوية من القيود التجارية على النسيج والملبوسات بنحو 24 بليون دولار. وتتجاوز حصيلة هذه الخسائر مساعدات الدول الغنية للدول الفقيرة؛ علما بأن هذه المساعدات لا يجري توزيعها بشكل عادل بين الدول الفقيرة، حيث يستفيد بعض هذه الدول أكثر من غيره إذا ما تم رفع هذه القيود ووقف الدعم الحكومي.

كسر الاحتكارات. غالبا ما يفتقر صغار المصدرين في الدول الفقيرة إلى شبكات التصدير والعلامات التجارية التي تفتح لهم الطريق إلى أسواق الدول الغنية. ومع أن شركات البيع بالمفرق العالمية يمكن أن تؤدي دورا في مساعدة هؤلاء المصدرين، ولكن عادة ما تكون هوامش الأرباح والرسوم المفروضة مرتفعة جدا ومن الصعب التحقق من الممارسات التجارية المقيدة من قبل الوسطاء الدوليين، ولكن هناك العديد من الدلائل التفصيلية التي تدل عليها. فعلى سبيل المثال، تسيطر على سوق القهوة العالمية أربع شركات. وفي أوائل التسعينات كانت أرباح القهوة للدول المصدرة نحو 12 بليون دولار أمريكي، ومبيعات المفرق نحو 30 بليون دولار أمريكي. وبحلول عام 2002، تضاعفت مبيعات المفرق. ولكن ما حققته

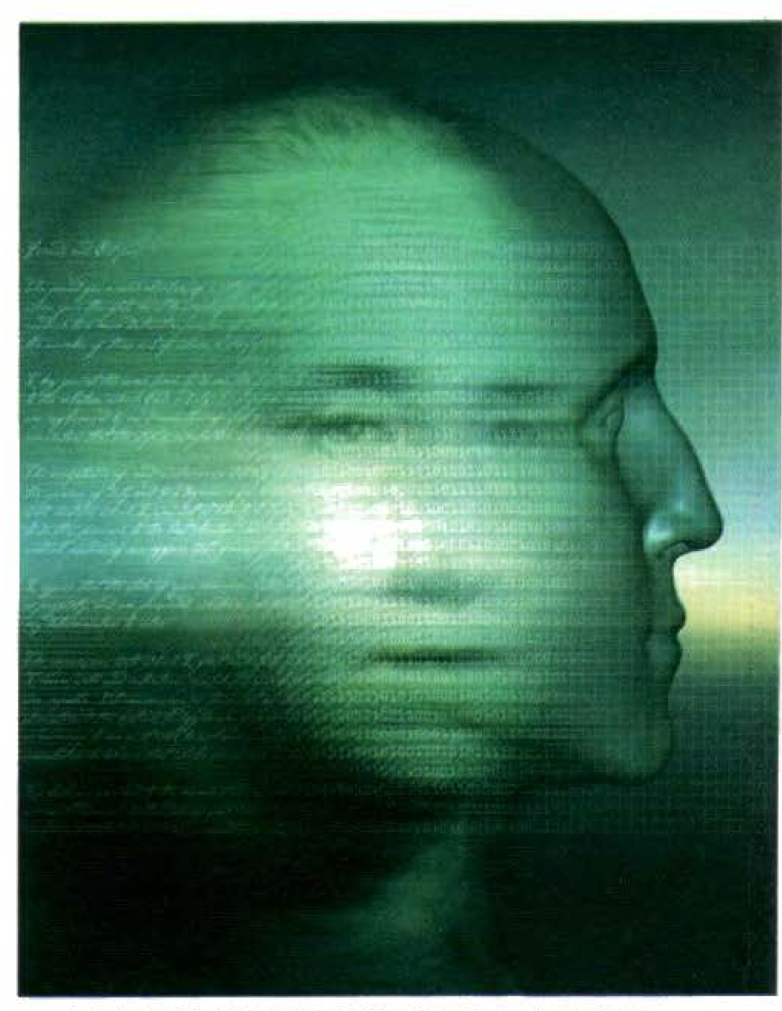
(*) When Talk Gives Way to Action

التتمة في الصفحة 37

تشكيل صورة لوجه جورج واشنطن في شبابه(*)

خبير في علم الأصول البشرية يُركِّب صورة لـ‹جورج واشنطن›(1) عندما كان شابا، وبذا يحل لغز سرٍ مدهشٍ قديم.

‹ل. شوارتس›



إعادة تشكيل رقمي لما يمكن لهيئة ‹واشنطن› أن تكون عليه في التاسعة عشرة من عمره.

من بين الذكريات القليلة المتبقية في مخيلتي من المدرسة الابتدائية عن ‹جورج واشنطن›(1) أنه قطع في طفولته شجرة كرز ونسب تلك الفعلة الشنعاء إلى والده؛ وأنه عندما كبر، كانت لديه أسنان من خشب. لكنْ أخيرا، ازدادت معلوماتي عن ‹واشنطن› قليلا. وقد تبين لي أنه لم يقطع شجرة كرز قط، وأنه لم تكن لديه أسنان من خشب. إلا أن هذين الأمرين كانا أقل ما فاجأني.

فقد تلقيت دعوة غير متوقعة لإعادة تركيب صورته وهو في شبابه، وقبل ظهور صوره الشهيرة وتمثاله، وقد دفعتني هذه الدعوة إلى الانطلاق في رحلة بحث كشفت لي عن شخصِ ‹واشنطن› المختلف تماما عن ‹واشنطن›. رجلِ الدولة الخشن الجانب ذي الشفاه الرقيقة الذي رُسِمت صورته على ورقة الدولار. لقد بدأت غزواتي للتاريخ الأمريكي عندما طلب إلي ‹C. J. ريس› [المدير التنفيذي لماونت فِرْنون، وهي مجموعة عقارات واشنطن] أن أعيد رسم صورة ‹واشنطن›، المولود في عام 1732 والمتوفى في عام 1799، وهيئته التي كان يبدو عليها خلال ثلاث مراحل مهمة من حياته. لقد أراد ‹ريس› هذه الصور بالحجم الطبيعي لوضعها في مركز ماونت فرنون التعليمي الذي سيُفتتح في هذا العام.

سيصوَّر ‹واشنطن› ذو التسعة عشر ربيعا في عام 1751 حينما ابتدأ حياته العملية مغامرا ومسَّاحا. وسيصوَّر أيضا كما كان في الخامسة والأربعين من عمره حينما عسكر مع جنوده في العراء، خلال الشتاء القارس في وادي فورج Valley Forge بانتظار الفرصة السانحة للانقضاض على البريطانيين الذين كانوا قد احتلوا مدينة فيلادلفيا. وسوف تُضم هاتان الصورتان إلى صورة ثالثة لـ‹جورج واشنطن›، ذي السبعة والخمسين عاما وهو يؤدي القسم في 1789/4/30، بوصفه أولَ رئيس، وهو دور اختاره عوضا عن الدور الآخر الذي عُرِض عليه، وهو أن يصبح ملكا.

وبصفتي متخصصا في علم الأصول البشرية، فقد درست سابقا عظاما قديمة لإنسان بدائي، وركبت عينات لأسلافنا. وقد عزَّز تجربتي هذه عملي في مكتب التحقيقات في الوفيات المشتبه فيها في پنسلڤانيا. لكن لا يوجد لدي حاليا ما يتيح لي مواجهة التحديات الفضولية المتعلقة باكتشاف الصورة الحقيقية لهيئة ‹G. واشنطن›. فأول ما علمته هو أنه لن يُسمح لي بدراسة هيكله العظمي الذي سيبقى مدفونا. من دون عظام؟ كيف لي أن أتصور نفسي أبدأ بتشكيل جديد لهيئة الجسد من دون توافر عظام؟ لكن التحدي كان أشد إغراء من أن يقاوَم.

(*) PUTTING A FACE ON THE FIRST PRESIDENT

(1) الرئيس الأول للولايات المتحدة الأمريكية

مفاتيح الحل[*]

كان بين المواد التي حصلت عليها تمثالٌ لـ<واشنطن> بالحجم الطبيعي من الرخام الأبيض وتمثال نصفي وقناع حقيقي لوجهه، وجميعها من أعمال نحات البلاط الفرنسي <جان-أنطوان هودون> الذي شرع في تجسيداته لـ<واشنطن> خلال زيارة قام بها لماونت فرنون في عام 1785 عندما كان عمر <واشنطن> ثلاثة وخمسين عاما. وقد أغنت حفنة من اللوحات التي رُسمت لـ<واشنطن> في منتصف حياته وأواخرها المعلومات المتوافرة عنه، وبخاصة اللوحات التي رسمها <J. ستيوارت>، و<Ch. W. بيل> وابنه <R. بيل> و <J. ترمبُلّ>. وأسهمت أيضا عدة مجموعات من أسنان صنعية وملابس مبعثرة، تعود أيضا إلى آخر جزء من حياته، في توفير أدلة أخرى قيِّمة.

ما كنت أحتاج إليه هو طريقةٌ ما لضم هذه المفاتيح معا ومعالجتها. فعلى سبيل المثال، إذا استطعتُ إجراء مسح حاسوبي ثلاثي الأبعاد لقناع الوجه والتمثال النصفي، اللذين نحتهما <هودون>، لاستطعت مقارنة دقة تفاصيلهما. وإذا استطعتُ مسح الأسنان الصنعية المتبقية مسحا ثلاثي الأبعاد، لاستطعت إدخالها في الرأس الرقمي لتحديد تقوسات الفكين. حينئذ يمكنني تخمين مقدار العظم الذي فقده <واشنطن> من فكيه قبل بلوغه الثالثة والخمسين من عمره، والتعويض عنه وأنا أشق طريقي باتجاه جعله يبدو أصغر تدريجيا (من المحتمل أن يكون شكل الفكين حينئذ قريبا جدا من شكلهما وهو في السابعة والخمسين).

وحالما أدركت أنني بحاجة إلى العمل في المجال الرقمي الثلاثي الأبعاد، اتجه تفكيري نحو الشركة بريزم[1]، وهي شركة لأبحاث النمذجة الفضائية في جامعة ولاية أريزونا. كنت قد زرت مختبر الشركة عندما ألقيت محاضرة في هذه الجامعة، وتذكرت رؤية نتائج التعاون الذي ضم جهود النحاتين وخبراء الأصول البشرية والمهندسين وعلماء الحاسوب. ومع أن المختبرات الأخرى لها أيضا خبرة في مجال التصوير الرقمي الثلاثي الأبعاد، فإن الشركة بريزم لديها سجل حافل في مجال العمل مع خبراء الأصول البشرية،

من دون عظام؟ كيف يمكنني أن أبدأ بتصوّر تشكيل جديد لجسد من دون توافر عظام؟

وهذا يعني أننا نتشارك معا في لغة علمية واحدة. وقدّمت المشروع إلى مدير الشركة بريزم <A. رازدان>، الذي أبهجتني موافقته على مساعدتي على التصوير.

وقررت أن أبدأ بالصورة التي وضعها <هودون> لـ <واشنطن> عندما كان في الثالثة والخمسين. أما سبب اختياري <هودون> فهو شهرته بأسلوبه الذي يُعنى بأدق التفاصيل، فوفقا للروايات التي عاصَرته، استخدم **المسماك**[2] calipers لقياس الرئيس من رأسه حتى أخمص قدميه. لكن من سوء الطالع أن مَشْغَل <هودون> وجميع مدوَّناته قد دُمِّرت أثناء الثورة الفرنسية، ومع ذلك فإن العديد من الخبراء مقتنعون بدقة التمثالين النصفي والكامل، لأن <واشنطن> طلب إلى النحات ألاّ يتجاوز في عمله حجمه الطبيعي، خلافا لما كان معتادا حينذاك في صنع تماثيل المشاهير.

ولتحديد درجة الدقة، قام <رازدان> وزملاؤه بمسح التمثال النصفي وقناع الوجه. وبمقارنتهما رقميا، وجدوا أنهما متطابقان تقريبا: فالفرق بينهما لم يتجاوز 0.3 مليمتر، وهي قيمة مهملة إحصائيا. وهذا يثبت أن التمثالين، الكامل والنصفي، يمثلان وجه <واشنطن> تمثيلا دقيقا. إلا أن شيئا أثار قلقي هو التطابق المذهل بين قناع الوجه ووجه التمثال النصفي. تشير الوثائق في ماونت فرنون إلى أن <هودون> كان قد صنع التمثال النصفي قبل أيام من صنعه قناع الوجه، وهذا يوحي بأنهما يجب أن يختلفا بقدر أكبر، لأن من المفترض أن يكون التمثال النصفي قد صنع يدويا من دون استخدام أي أدوات. لكن العينين والأنف والذقن المائل اللامتناظر، وموضعي صيواني الأذنين الظاهرين، وتجاعيد الجبهة هي ذاتها في قناع الوجه وفي التمثال النصفي. أخيرا، وبعد أشهر من الحيرة، استنتجت أن <هودون> لم يصنع الوجه في التمثال النصفي يدويا من دون أدوات. فبعد أن أضاف العينين إلى قناع الوجه (لقد غُطِّيت عينا واشنطن حين صنع القالب لوجهه)، صنع قالبا للقناع وضغط فيه طينا مشويا للحصول على وجه التمثال النصفي. وكان عليَّ أن أُسلِّم بأن بقية الرأس قد ارتكزت على قياسات <هودون> بالمسماك.

وبينما كنا نفرز المعلومات التي حصلنا عليها من المسح الرقمي، التقيت بـ <E. G. مايلز> [المشرفة على الرسم والنحت في معرض اللوحات الوطني السميثوني Smithsonian National Portrait Gallery]، حيث بدأتُ بجمع المعلومات عن دقة لوحات <واشنطن>

---

[*] The Clues

[**] Overview / Reconstructing GW

[1] Partnership for Research in Spatial modeling (PRISM)

[2] أداة لقياس البعد بين نقطتين، تتكوّن من ذراعين طويلتين رفيعتين مرتبطتين معا في أحد طرفي كل منهما. (التحرير)

نظرة إجمالية/ تشكيل جديد لـ<جورج واشنطن>[**]

- **طُلب إلى الكاتب، وهو خبير في الأصول البشرية، أن يُجري أول تشكيل شرعي جديد لـ<جورج واشنطن>. وهذا المشروع، بوصفه جزءا من مركز تعليمي جديد في ماونت فرنون، بناء تماثيل بالحجم الطبيعي للرئيس الأول عندما كان في التاسعة عشرة، والخامسة والأربعين، والسابعة والخمسين من عمره.**
- **لم يكن ممكنا استخدام بقايا الهيكل العظمي لـ <واشنطن> لتكوين فكرة عن مقاسات جسمه، إلا أن تمثالا ولوحات وقناع وجه وأطقم أسنان صنعية وملابس، تعود جميعها إلى السنوات الأخيرة من حياته، وفَّرت المعلومات اللازمة.**
- **أتاح برنامج حاسوبي خاص ثلاثي الأبعاد للكاتب وزملائه جمع هذه المعلومات ومعالجتها للوصول إلى النماذج الثلاثة شبه الحية.**

الخطوات الأولى في التشكيل الجديد(*)







قناع وجه حقيقي لـ ‹واشنطن› وهو في الثالثة والخمسين، صنعه ‹هودون›.

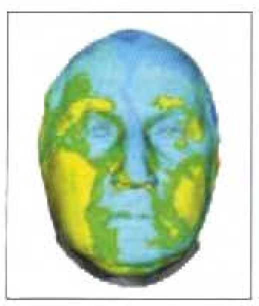
تمثال نصفي لـ ‹واشنطن› وهو في الثالثة والخمسين، صنعه ‹هودون›.



صورة رقمية لقناع الوجه.



صورة رقمية للتمثال النصفي.



مقارنة

كان التمثال النصفي وقناع الوجه الحقيقي، اللذان صنعهما النحات ‹J. A. هودون› في عام 1785، عندما كان ‹واشنطن› في الثالثة والخمسين، نقطة بداية التشكيل الجديد. ولتحديد إمكان استخدام التمثال النصفي بثقة ليعبِّر عمّا كان يبدو عليه ‹واشنطن›،

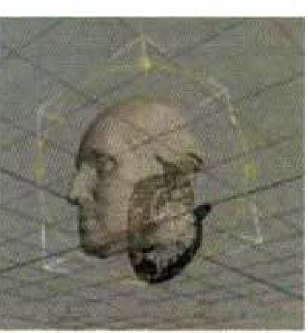
أجرى الكاتب وزملاؤه مسحا حاسوبيا ثلاثي الأبعاد لقناع الوجه والتمثال النصفي وقارنوهما رقميا. وكانت النتيجة فرقا بسيطا يساوي 0.3 مليمتر. يشير اللون الأصفر إلى مناطق التباين، أما مناطق العين والأنف والفم التي هي أكثر أهمية، فهي متطابقة تماما.



لوحة لـ‹واشنطن› في الأربعين من عمره رسمها ‹W. C. بيل›.



صورة رقمية للوحة.



وضْعُ صورة اللوحة الرقمية فوق التمثال النصفي.

مقارنة اللوحة بالتمثال النصفي.

للمساعدة على استعادة هيئة ‹واشنطن› الشاب، مسحوا رقميا أقدم لوحة موجودة، وهي لوحة رسمها ‹W. C. بيل› في عام 1772، عندما كان القائد في الأربعين من عمره. وبيَّنت مقارنة هذه الصورة الرقمية بصورة التمثال النصفي الرقمية أن المسافة بين الأنف والذقن كانت أطول في اللوحة. وعلَّل الكاتب هذا كما يلي: صحيحٌ أن ‹واشنطن› كان قد فقد معظم أسنانه في الثالثة والخمسين من عمره، لكنه في بداية الأربعينات من عمره، بقيت لديه أسنان أمامية على الأرجح، وهذا ما سبب الاختلاف في شكل وجهه. والاختلاف الذي لوحظ، أرشد الكاتب إلى نهج العودة إلى الوراء، انطلاقا من التمثال النصفي والقناع، إلى سنوات أبكر.

ومزاياها. لقد حذرتني ‹مايلز›، منذ البداية، أن على المرء أن يكون مرتابا. ليس فقط في اللوحات المنسوخة عن لوحات أصلية رسمها فنانون وقف ‹واشنطن› أمامهم كي يرسموه، بل باللوحات الأصلية ذاتها أيضا. خُذْ، على سبيل المثال، لوحة ‹ستيوارت› التي رسمها في أواخر تسعينيات القرن الثامن عشر، وهي واحدة من بضع لوحات رُسِمت لـ ‹واشنطن› بالحجم الكامل في ذلك القرن. يمكن التمييز أن الوجه فيها هو وجه ‹واشنطن›، ويبدو أن ‹ستيوارت› قد نقله من لوحته المعلقة حاليا في مكتبة Boston Athenaeum (مجمع بوسطن للآداب والعلوم). وهي صورة مرآتية لتلك الموجودة على ورقة الدولار. أما اليدان على الأقل، فهما من نسج خيال ‹ستيوارت› على الأرجح، وأما الجسد فقد شُكِّل على مقاس نحو ثلاثة أشخاص مثَّلوا ‹واشنطن› أمامه.

وبالمقارنة، يمكن أن تمثِّل اللوحةُ، التي رسمها ‹ترمبُل› في عام 1792، جسمَ ‹واشنطن› من الرقبة إلى الأسفل بدقة أكبر مما تمثله من الرقبة إلى الأعلى. ثمة مثال رائع للتفسير الفني لهذا التباين تجلى حينما قارنت ‹مايلز› لوحتين رسمهما ‹بيل› وابنه ‹رامبرانت› ذو السبعة عشر عاما، في آن واحد في عام 1795، عندما جلس ‹واشنطن› أمامهما ليرسماه وهو في الستينات من عمره. لقد قام ‹بيل› الأب برسم شخص قصير بدين، يبدو رؤوفا، ذي وجنتين ورديتين: إنه رفيقه وصديق عمره. أما الابن فقد رسم رجلا مسنا هزيلا ملأت وجهه تجاعيد عميقة. وهكذا تكون لدينا أربع صور على الأقل شبيهة لـ ‹واشنطن› في الستينات من عمره، كلٌ منها يختلف عن الأخريات اختلافا واضحا.

صحيحٌ أن الصور كانت مربكة، بيد أن أطقم الأسنان الصنعية كانت أشد إرباكا. طبعا، سرعان ما عرفت أن ‹واشنطن› لم يستخدم أسنانا صنعية خشبية قط، خلافا للأسطورة القائلة بذلك. ففي القرن الثامن عشر، كان العاج أكثر مادة استعمالا في صنع الأطقم الصنعية التي تُثبَّت فيها أسنان (إنسان أو حيوان)، وكان غالبا ما يؤخذ من أنياب فرس النهر. ومع الوقت، كانت تحدث

(*) First Steps in the Reconstruction

إن مجموعة الأسنان الكاملة الوحيدة التي وجدتها كانت طقم أسنان، بدا غامضا أولَ وهلة، في ماونت فِرْنون.

تشققات شعرية في سطح العاج بين المواشير المتعمدنة التي يتألف منها. وتصبح هذه الشقوق داكنة اللون بفعل التصبغ الناجم عن الأكل والشرب والتدخين، مقارنة بمواشير العاج الناصعة. من الواضح أن ثمة من أخطأ عندما ظنّ أن أنماط الوسخ تلك هي عروق الخشب، فنشأت الأسطورة.

إن الصحيح هو أن ‹واشنطن› كان قد فقد معظم أسنانه قبل أن يزوره ‹هودون› في ماونت فرنون. ففي الواقع، خُلعت سنه الأولى عندما كان في بداية العشرينات من عمره. وحين بلوغه الثالثة والخمسين، لم يبقَ من أسنانه سوى سنّين في الفك السفلي على الأرجح. إننا نجهل سبب مشكلته السنية، ولكن من المحتمل أنه أصيب بأمراض سنِّية متتابعة، تفاقمت بسبب إدمانه أكل الجوز الذي كان يكسره بأسنانه، وفق اعترافه الشخصي. وعندما يفقد المرء سنا، يضمر العظم الذي كان جذر السن مغروسا فيه، فيتقلص ارتفاع الفك في تلك المنطقة. وعندما يفقد الكثير من أسنانه، فإن الفكين، وبخاصة الفك السفلي، يتغيّران تماما حجما وشكلا. وهذا يعني أن عليَّ أن أحاول أولا تحديد حالة فكي ‹واشنطن› وتجويف فمه وهو في الثالثة والخمسين من العمر، قبل أن أتمكن من التفكير بإضافة أسنان وعظم وتشكيل جديد للفكين لاسترجاع هيئته وهو في التاسعة عشرة وفي الخامسة والأربعين من العمر.

بداية، كان عليَّ اقتفاء أثر وجود أي طقم أسنان متبقٍّ بعد موت ‹واشنطن› يُحتمل أن يكون قد استخدمه في تلك الحقبة من حياته فتبيّن أنه قد دُفن مع آخر طقم أسنان له. لكنني تمكنت من فحص صفيحة أسنان صنعها طبيب الأسنان ‹جوزيف گرينوود› في عام 1789، وهي موجودة في أكاديمية الطب بنيويورك، إضافة إلى جزء سفلي مما كان يوما طقما كاملا صنعه ‹گرينوود› في عام 1795 حينما فقد ‹واشنطن› سنه الأخيرة، وكان موجودا في المعرض السميثونياني. أما الآن فهو موجود في المتحف الوطني لطب الأسنان. لقد اختفى الجزء العلوي أثناء سرقة تعرض لها مستودع المعرض السميثونياني. أما المجموعة الكاملة الوحيدة التي استطعت الحصول عليها فقد كانت طقم أسنان، بدا غامضا أول وهلة، ضمن مجموعة ماونت فرنون.

لقد وُجدت هذه المجموعة ضمن أحد صناديق الممتلكات الشخصية لـ ‹مارثا واشنطن› بعد وفاتها بعدة عقود. لم تكن لها أسنان صنعية، ولذا يُحتمل أنها تخص زوجها. ولم يعرف أحد مَنْ صنَعها ومتى صُنعت، مع أنني استطعت أن أخمِّن أنها قد صُنعت على الأرجح بين عامي 1789 و 1795. وقد أكد الباحثون أن الصفيحتين مصنوعتان من الرصاص، وأن الأسنان في الصفيحة العليا تتضمن قواطع عليا لحصان أو حمار، وسفلى لبقرة، وأن تلك التي في الفك السفلي هي أسنان إنسان، إضافة إلى جسم صنعي يُحتمل أن يكون قد نحت من قشرة جوزة. إن ما أدهشني هو أنني رأيت أن بعض الأسنان في الصفيحة السفلى هي أسنان بشرية عليا. وأشد غرابة هو اكتشافي أن طقم الأسنان غير قابل للاستخدام أساسا. فسطحا الصفيحتين الرصاصيتين لم يكونا مقعَّرين لاحتواء اللثة الخالية من الأسنان، بل كانا مسطحين. وأكثر من هذا هو أن النوابض التي تربط الصفيحتين معا وتضغطهما على اللثتين كانت متقوسة إلى الخلف، لا إلى الجانبين، وهذا ما يجعلها تدفع الصفيحتين خارجا عندما يفتح واشنطن فمه. إن الغرض الوحيد الممكن من طقم الأسنان هذا على الأرجح هو ملء تجويف فم ‹واشنطن› حينما كان يجلس لرسم لوحة له. ومع ذلك، عرفت من هذا الطقم شيئا عن حجم فكي الرئيس وشكليهما.

مسترشدا بأبعاد الأسنان الزائفة، بدأت بتجميع نموذج لداخل فم ‹واشنطن›. بعدئذ، سوف أهتم بضم هذه المعلومات إلى معلومات قناع الوجه والتمثال النصفي اللذين شكَّلهما ‹هودون›.

تجميع الرأس[2]

بالتعاون مع ‹M. توشري› [الذي كان يعمل حينذاك لدى الشركة بريزم] أجريت قياسات على التمثال النصفي تخص عرض الفك السفلي في موضع اتصاله مع قاعدة الجمجمة. وبالمصادفة، كان لدى ‹B. بيكر› [العالمة في الأصول البشرية لدى حكومة ولاية أريزونا] مجموعة صغيرة من الهياكل العظمية لجنود بريطانيين من الحربَيْن الفرنسية والهندية. وكان لأحدها فك سفلي حجمه يساوي حجم فك ‹واشنطن› تقريبا، فمسحناه حاسوبيا ووضعناه رقميا ضمن وجه التمثال النصفي، وضخمناه قليلا ليصل إلى الحجم الصحيح. وبعدئذ قمنا رقميا بتهريم[1] الفك بحتّ العظم وجميع الأسنان باستثناء الضاحك الثاني السفلي الأيسر. ورقميا وضعنا الأسنان الصنعية الموجودة في ماونت فرنون على سطح الفك السفلي كما لو كانت متوضعة في فم ‹واشنطن›، وضبطنا انحناء العظم ومكان وارتفاع الضاحك ليصبح ملائما لمكانه. ثم زدنا دقة هذا التركيب بالمسح الحاسوبي لنسخة مطابقة للأسنان السفلية التي صنعها ‹گرينوود› في عام 1789، ووضَعناها على المجموعة التي شكَّلناها. ونظرا إلى أن الذقن في الفك السفلي للجندي لا يطابق فك ‹واشنطن› تماما، فقد أعدنا تشكيل ذقن الجندي رقميا للحصول على شكل ذقن ‹واشنطن› العريض المائل. وباستخدام برنامج كتبه ‹J. هانسن› لدى الشركة بريزم خصوصا لهذا المشروع، غيَّرنا الزاوية الخلفية للفك السفلي لتعبِّر عمّا استطعت استنتاجه عن الحنك من قناع الوجه، وعن تغيُّر شكل

(1) aging

(2) Putting the Head Together

العظم الذي يمكن أن يكون قد حصل خلال نحو ثلاثة عقود من فقدان الأسنان.

أما التشكيل الجديد للفك العلوي لـ «واشنطن»، فلم يكن بالأمر السهل لافتقارنا إلى القسم العلوي المسروق من طقم الأسنان الذي صنعه «كرينوود» في عام 1795. إلا أن المتحف الوطني لطب الأسنان كان يمتلك نسخة عن الأصل الكامل، وخطر ببالي أنه بإمكاننا أن نمسحها مع الفك السفلي الأصلي أيضا. لكنْ عندما قارنت بالعين المجردة النسخة بالفك السفلي الأصلي، رأيت اختلافات واضحة، فقد نُظِّفت النسخة كي تبدو أجمل من النسخة الأصلية المخيفة إلى حد ما. ومن حسن الطالع أن النسخة والأصل كانتا قد صُوِّرتا فوتوغرافيا معا، ولذا نستطيع مسح النسخة. ولما كنا نعرف حجمها، فقد استطعنا حساب حجم الأصل. وهكذا استطعنا توليد أسنان عليا ثلاثية الأبعاد. وعدَّلنا فك الجندي العلوي ليتوافق مع وضع تلك الأسنان فيه، وضبطنا التركيب العظمي الناتج ليتوافق أيضا مع وجه التمثال النصفي.

ولإدخال هذه المعلومات في وجه «واشنطن» وهو في الخامسة والأربعين، ومن ثَمَّ وهو في التاسعة عشرة من عمره، لجأت إلى لوحات «تشارلز ويلسون پيل» التي تصوِّر «واشنطن» وهو في الأربعين، وفي السابعة والأربعين. وبعد أن أمضيت ساعات أحدِّق فيها، فوجئت بأن المسافة بين الأنف والذقن كانت أطول مما هي عليه في كلٍّ من التمثال النصفي واللوحات التي تمثل واشنطن في أعمار متقدمة. وللتوثُّق من هذا الأمر، قارنا نسخا رقمية ثنائية الأبعاد للوجوه في تلك اللوحات بالوجه الرقمي الثلاثي الأبعاد في التمثال النصفي. وأظهرت النسخ الرقمية اختلافا فعليا. وكان لذلك مغزى. فغالبا ما تُفقد الأسنان الخلفية أولا. والاستطالة السفلية البسيطة في وجه واشنطن عندما كان في الأربعين وفي السابعة والأربعين هي على الأرجح نتيجة وجود أسنان أمامية مع عظمها.

مستعينا باللوحات باعتبارها دليلا، استخدم «هانسن» برنامجه لتحويل طول الوجه الرقمي ذي الثلاثة والخمسين عاما إلى طول يتناسب مع وجهٍ أصغر عمرا. وقد لاحظت أن ذقن «واشنطن» في الأربعين وفي السابعة والأربعين كان أكثر تناظرا منه في التمثال النصفي أو في اللوحات التي تمثل أعمارا متقدمة، ولذا عدَّلناها وفق المقتضى. ثم ضممنا فك الجندي المعدَّل إلى ما أصبح الآن وجها ذا أربعين عاما وضبطناهما، وتوثَّقنا من الصورة بمقارنتها بالبيانات المستخلصة عن سماكة الجلد. ونظرا إلى أن ذا الخمسة والأربعين عاما يمتلك من العظم عادة على طول حنكه أكثر مما يمتلكه ذو الثلاثة والخمسين عاما، وجب أن تكون الزاوية في المؤخرة أفضل رسما. وأخيرا، حصلنا على القسم السفلي من الوجه ذي الخمسة والأربعين عاما. فاستخدمته نموذجا للوجه ذي التسعة عشر عاما، وجعلت زاوية الفك أشد وضوحا في النسخة التي هي أصغر عمرا. أما ما يخص بقية ملامح الوجه، فقد خفَّفتُ أو محوتُ التجاعيد وآثار الشيخوخة، وأضفت بعض الشحم إلى الوجنتين (فهو يُفقد مع تقدم السن) وقصَّرت الأنف وصيوانَيْ الأذنين (لأن غضاريفهما تنمو طوال الحياة).

إن إنشاء الوجوه الثلاثة لا يعني انتهاء العملية، فالجلد الذي تحت الذقن وحول العنق يجب أن يُشدَّ في الرأس ذي الخمسة والأربعين عاما، وأن يُشدَّ أكثر في الرأس ذي التسعة عشر عاما. وهكذا أصبحت الرؤوس جاهزة. وما علينا الآن إلا التشكيل الجديد للأجسام وضمُّ الرؤوس إليها رقميا.

تشكيل الجسم(*)

يصوِّر التمثال واللوحات هيئةً لـ «واشنطن» تختلف إلى حد ما عمَّا نتوقع رؤيته في بنية الذَّكر في القرنين العشرين والحادي والعشرين. فقد اكتشفت أنه تماشيا مع تقاليد القرن الثامن عشر التي كانت شائعة بين الأسر الإنكليزية العريقة، أُلبِس «واشنطن» مِشَدّاً لخصره حتى بلوغه الخامسة من العمر. ولم أستطع الحصول على نموذج، أو حتى على وصف، لذلك المشد، لكنه يختلف حتما عن المشدّ الذي تستخدمه الفتيات والنساء لتضييق الخصر، فهو يجعل جسم الذكر يبدو كجسم راقص الباليه. إنه يشد الكتفين إلى الخلف، وينفخ الصدر إلى الأمام، ويسطِّح المنطقة بين عظمتي الكتفين وتحتهما، مولِّدا انحدارا طويلا من الرقبة في الجانبين: أما الانحناء الطبيعي للظهر السفلي نحو الوراء، فيُزاد لدفع البطن إلى الأمام (ووفقا لما علمته أيضا، كان «واشنطن» راقص حفلات بارعا. وفي الواقع، كان يحتفظ بملاحظات تفصيلية عن كل نوع من الرقصات). وعندما يتغير مسار النمو في جسم الصبي، فإن الشكل الجديد يبقى طوال الحياة، وهذا ما يفسر أن اللوحات التي تمثل النبلاء الإنكليز في القرن الثامن عشر، ومنهم أولئك الذين وقَّعوا إعلان الاستقلال، تتضمن صورا مميزة لا تتضمنها اللوحات التي تمثل رجالا مرموقين في القرون اللاحقة.

إن طول «واشنطن» الفريد في أيامه، والذي يبلغ نحو ست أقدام وبوصتين (لا ست أقدام وثلاث بوصات ونصف، كما يقال أحيانا، فهذا على الأرجح طول تابوته) كان يُعدُّ سببا لمهارته الفائقة، لا في الرقص فحسب، بل في الفروسية أيضا. فقد وُصف بأنه كان يلف ساقيه الطويلتين بشدة حول بطن جواده عندما كان يبز رفاقه في سباق الخيل. ووفقا لما اكتشفته، كان «واشنطن» يستطيع فعل ذلك، لا لأن ساقيه كانتا طويلتين فحسب، بل أيضا لأن كثيرا من سلالات الخيول التي كانت تربى في القرن الثامن عشر كانت أصغر حجما من معظم السلالات التي هُجِّنت خلال القرن التاسع عشر. وهناك سبب آخر، فقد تبين أنه يستند إلى وصف غير صحيح كُرِّر كثيرا، يفترض أن «واشنطن» كان عريض الوركين، وهذا ما يفسر قدرته على الجلوس جيدا على سرج الحصان.

للحصول على معلومات أكثر دقة عن بنية جسم «واشنطن»، طلبت إلى القيِّمين في ماونت ڤرنون أيَّ مجموعة أشياء يمكن أن

(*) Constructing the Body

إنهاء الوجه[*]

وفّر تاريخ أسنان «واشنطن» معلومات مهمة لإتمام التشكيل الجديد لرأسه وهو في الخامسة والأربعين وفي التاسعة عشرة. إن فقدان الأسنان يؤدي إلى فقدان العظم الذي يقلص ارتفاع الفك ويغير كثيرا حجمه وشكله. وحالما تمكّن فريق التشكيل الجديد من تحديد شكل الفك لسن الثالثة والخمسين، أضاف سنا وعظما لإعادة تشكيل الفكين اللذين أخذا الشكل الذي كان لهما في أيام شباب «واشنطن».



بدؤوا بمسح فكٍّ حقيقي سليم *[a]* له نفس حجم فك واشنطن تقريبا، وأدخلوه رقميا في صورة التمثال النصفي الثلاثية الأبعاد. ثم عدّلوا الفك *[b]* بالحذف الرقمي لبعض العظم وجميع الأسنان عدا الضاحك الأيسر السفلي الثاني، وهي السن الوحيدة المتبقية في رأس واشنطن عندما كان في السابعة والخمسين من عمره. وأخيرا، أدخلوا رقميا طقم أسنان الرئيس في سطح الفك *[c]* وعدّلوا العظم والضاحك ليأخذا مكانهما؛ ثم أضافوا عظما إلى الفك *[d]* للتشكيل الجديد لبنية الوجه السفلي في الخامسة والأربعين وفي التاسعة عشرة.

a

صورة رقمية لفك حقيقي مشابه في حجمه لفك «واشنطن».

b

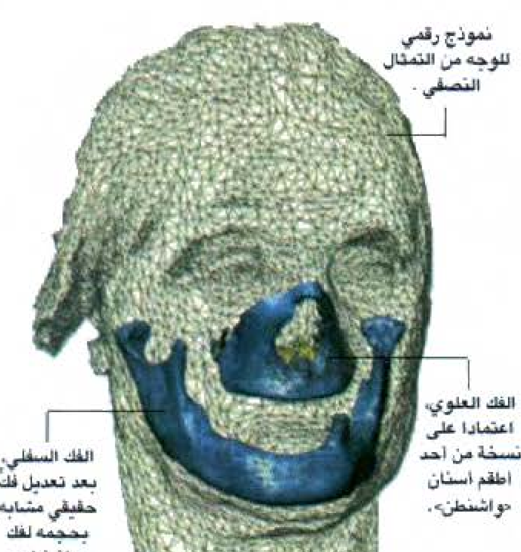
فك مُهرَّم **aged** رقميا.

c

أسنان موجودة بماونت فرنون [صفيحتان رصاصيتان، أسنان حصان وبقرة في الأعلى؛ وأسنان إنسان في الأسفل]

أسنان ماونت فرنون مندمجة رقميا وموضوعة ضمن الفك المهرَّم.



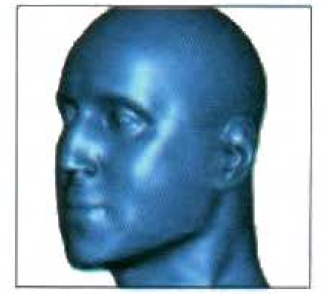


d

ضبط العظم في الفك المهرَّم رقميا [الأخضر] ليتناسب مع سماكة النسيج الطري الذي كان بينه وبين الجلد. تمثل الخطوط الأرجوانية سماكة الجلد.



في السابعة والخمسين من العمر.



في الخامسة والأربعين من العمر

في التاسعة عشرة من العمر

يكون قد ارتداها، فنمط الملابس حينذاك كان من النوع الضيق الذي ينطبق على الجسم تماما، وبخاصة حول الجذع والوركين والساقين. لكن كان عليَّ أن أقلِّص قائمة رغباتي سريعا، إذ لم تكن ثمة قبعات أو أحذية أو جِزم أو قفازات يمكن أن تزودنا بتفاصيل عن حجم وشكل الرأس واليدين والقدمين. أما مجموعات الأشياء الموجودة في ماونت فرنون ومتاحف أخرى، فتضمنت ملابس من الحقبة الممتدة من عام 1770 حتى عام 1790 (أي من منتصف عمره حتى أواخر حياته) فقد أمكن التوثُّق من أن «واشنطن» ارتداها ولم تُعدَّل بعد وفاته لتلائم أقاربه. وبمساعدة العين الخبيرة لـ «L. بومگارتن»، [القيِّمة على الأقمشة في متحف المقاطعة Colonial Williamsburg] حصلت على مقاسات ملابس «واشنطن»، وقارنتها بالتمثال الذي صنعه «هودون».

لقد تبيَّن أن هذه المقارنات كانت شديدة الأهمية عندما درست التمثال المقام في مبنى البرلمان الحكومي في ريتشموند بفيرجينيا. فعندما اقتربت من التمثال أولَ مرة، لاحظت مباشرة أن واشنطن يبدو أنحل بكثير مما صوَّرته الأوصاف واللوحات، وخصوصا عند الوركين. وبمساعدة «G. كوبر» و «S. ڤان نوت» [اللذين يعملان في الشركة بريزم] قارنت طولي ذراعي وساقي التمثال والعرض بين كتفيه بالقياسات التي أخذتها من الملابس، وكانت النتيجة أنها

(*) Finishing the Face

التشكيل الجديد للجسم[*]

كان الأب المؤسس لأمريكا طويلا ونحيلا ومفتول العضلات في التاسعة عشرة من عمره. وعندما نُصب التمثال، الذي نراه هنا بالطول الكامل أولَ مرة، في ماونت فرنون في مطلع هذا العام، أُلبس الزي الذي كان <واشنطن> قد ارتداه عندما كان مساحا للحدود. وقد رُبط شعره البني، المائل إلى الحمرة، إلى الخلف على شكل ذيل حصان.



تطلَّب وضع الرأس على الجسم "خياطة" رقمية مضنية؛ فحافات هذين القسمين مؤلفة من مثلثات صغيرة كثيرة بدلا من أن تكون قطعا ملساء، ولذلك كانت عملية وصلها معا أشبه بتجميع القطع الدقيقة في أحجية الصورة المجزأة.

إن طول <واشنطن> الأكثر دقة يأتي من التمثال الذي صنعه <هودون> في عام 1785 [*اليسار*] والذي يُظهِر الرئيس بطول لا يقل عن ست أقدام وبوصتين. أما اللوحات فهي أقل وثوقية؛ فاللوحة الشهيرة التي رسمها <ستيوارت> لـ <واشنطن> بالطول الكامل [*اليمين*]، على سبيل المثال، تتضمن أشياء من <واشنطن>، وأشياء من آخرين مثَّلوه أمام <ستيوارت>.

أُلبس <واشنطن> مِشداً حتى الخامسة من العمر تقريبا، لشدّ الكتفين إلى الخلف، ونفخ الصدر إلى الأمام وتكوين انحدار طويل من الرقبة إلى الكتفين.

تبيِّن الملابس الموجودة ضمن مجموعة ماونت فرنون أن <واشنطن>، مع نحوله غير العادي، كان أسمن بقليل مما يصوِّره التمثال.

تقدِّم لوحات <ترمبُل> المرسومة في عام 1797 دليلا إضافيا على طول ساقي <واشنطن> اللتين، وفق ما يقال، كان باستطاعته لفهما حول بطن حصانه. [يبدو <واشنطن> على حصان أسود في *النصف الأيمن من الصورة*].

في الخامسة والأربعين من العمر [ممتطيا حصانا]

في السابعة والخمسين من العمر

في التاسعة عشرة من العمر

[*] Re-Creating the Body

تماشيا مع الأعراف السائدة في القرن الثامن عشر، أُلبس واشنطن مشداً حتى بلغ الخامسة من العمر.

متماثلة تقريبا. مع أن الملابس أشارت إلى شخص أضخم قليلا مما يمثّله التمثال لم يكن أضخم كثيرا، لكن بضعة سنتيمترات هنا أو هناك تمثّل فرقا وضبطنا شكل التمثال رقميا وفق ذلك. وانطلاقا منه، استطعت إعادة تركيب الأجسام ذات التسعة عشر عاما، والخمسة والأربعين عاما، والسبعة والخمسين عاما، مسترشدا بالمعرفة العامة عن كيفية تغيُّر الأجسام مع تقدم العمر، وبمعلومات معينة تخص واشنطن نفسه.

إن الوثائق التاريخية التي تنطوي على أن <واشنطن> كان هزيل البنية في سنواته الأخيرة، بسبب نوبات المرض وصعوبة تناول الطعام، تعزِّز القياسات المأخوذة من الثياب. لذا رأيت من المعقول أن أستخدم جسم التمثال المعدَّل ليمثِّل شخص السابعة والخمسين. أما جسم الخامسة والأربعين، فقد تطلب نهجا مختلفا. إن لوحات <پيل الأب> لـ <واشنطن> في الأربعين وفي السابعة والأربعين تُري الجنرال ممتلئا حول البطن والوركين مقارنة بما تبينه اللوحات والملابس اللاحقة. وتساءلت عن سبب سمنته، ولا سيما أنه في السابعة والأربعين كان قد تحمّل مشقات الحرب، ومنها عناء الشتاء في وادي فورج. فقد كان ألم أسنانه خلال هذه السنوات متواصلا إلى حد يمكن أن يكون قد دفعه إلى تغيير نظامه الغذائي وتناول طعام أكثر ليونة ودسما على الأرجح (لقد بلغت معاناة واشنطن خلال حرب ترِنْتون Trenton عام 1776، وكان حينذاك في الرابعة والأربعين، درجة جعلت طبيبه يكلِّف حدّادا أن يصنع كماشة كي يتمكن من اقتلاع الضرس الذي يسبب له الإزعاج). وهكذا جعلتُ جسم الخامسة والأربعين أضخم، وبخاصة في الوسط. أما جسم التاسعة عشرة، حتى إنْ كان قد وصل إلى الطول النهائي للشخص البالغ، فإنه لا يكون قد نضج هرمونيا قد يكون قد اكتسب لياقة نتيجة صعوده التلال ونزوله عنها حاملا معدات المساحة، ومع ذلك يمكن أن يكون نحيلا وقويا. وهذه هي الصورة التي ارتأيت أن أرسمها له.

أخيرا استطعنا وضع الرؤوس على الأجساد. وللقيام بذلك كان علينا أن نخيط الصورة الرقمية لكل رأس وجسم معا. تعطي الصورة الرقمية نقاطا من البيانات تتصل معا لتشكِّل مثلثات. لذا كان العمل أشبه بحل أحجية الصورة المجزَّأة، وذلك بضم آلاف المضلعات الصغيرة معا. بعدئذ أرسلنا البيانات الرقمية إلى الشركة Kreysler and Associates في كاليفورنيا الشمالية لاستخدامها في صنع ثلاثة رؤوس مختلفة لـ<واشنطن> من الإسفنج البلاستيكي الكثيف.

ونُقلت هذه الرؤوس إلى الاستديو Studio EIS في مدينة نيويورك، حيث صُنعت قوالب لها بهدف تشكيلها من الصلصال. وفي النهاية، سوف تُضمُّ الرؤوس، اعتمادا على الصورة الرقمية المجزَّأة، إلى الأجسام التي صنعت في الاستديو. وسوف تُبنى الأجسام من الإسفنج الكثيف، وتغطى بالجص، وتبطن حيث تدعو الحاجة إلى محاكاة طراوة الجسد الحقيقي. لقد عملت مع النحات <S. ويليامسون>، [المستشار لدى الاستديو EIS]، لإعطاء كل وجه تعبيرا مميزا له قبل صنع قالب الصلصال الذي سيُستخدم في إنتاج نسخ من الشمع. وقامت <S. داي>، [وهي رسامة تعمل مستشارةً أيضا في الاستديو]، بطلاء الوجوه الشمعية كي تبدو نابضة بالحياة إلى أبعد حد ممكن، جاعلة الجلد شاحبا والوجنتين ورديتين والعينين زرقاوين مائلتين إلى الرمادي، وفق وصف <جيلبرت ستيوارت> لـ <واشنطن>. وسيُزرع شعر ضارب إلى الحمرة في الرأسين الأصغر عمرا، وسيُربط إلى الخلف على غرار ما كان عليه الشعر المستعار حينذاك. أما رأس السابعة والخمسين، فسيكون شعره مائلا إلى الرمادي ليحاكي مظهره المزيَّن بالمساحيق في مشهد تنصيبه رئيسا.

في الختام، آمل أن يعبِّر كلٌّ من هذه التماثيل الثلاثة لأبي هذه البلاد، عن بعض الحيوية والجانب الإنساني لشخص سيبقى، مع أهميته التاريخية، رمزا ليس له صبغة معينة في نظر معظم الأمريكيين. ومن ناحية أخرى، فقد أسفر المشروع عن نتيجة مهمة أخرى، هي أن التعاون غير المسبوق بين مجالات أبحاث مختلفة وتطبيق تلك الأبحاث مكّناني، ومن تعاونت معهم، من تحقيق فتوح في صهر العلم والفن والتاريخ معا بطرائق كان من الصعب تخيلها حتى قبل سنوات قليلة. ■

المؤلف

JEFFREY H. SCHWARTZ

أستاذ في قسمي علم الأصول البشرية وتاريخ وفلسفة العلوم بجامعة بيتسبورگ، وباحث مشارك في المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي ومتحف كارنيكي للتاريخ الطبيعي، وخبير في الأصول البشرية بمكتب التحقيق الجنائي في مقاطعة أَلَّگني بپنسلڤانيا. تشمل أبحاثه تطور الرئيسات البشرية وغير البشرية ونظرية التطور وعلم الأحياء التطوري وعلم تشكُّل الهيكل العظمي المقارن. وهو عضو في الأكاديمية العالمية للفنون والعلوم، ومؤلف لعشرة كتب ولأكثر من 150 مقالة. ومن أحدث منشوراته: The Human Fossil Record, with Ian Tattersall (Wiley-Liss, 2002, 2003, 2005) The Red Ape: Orangutans and Human Origins (Westview, 2005)

مراجع للاستزادة

George and Martha Washington: Portraits from the Presidential Years. Ellen G. Miles. Smithsonian Institution, National Portrait Gallery, 1999. Exhibition Web site: **www.npg.si.edu/exh/gw/**

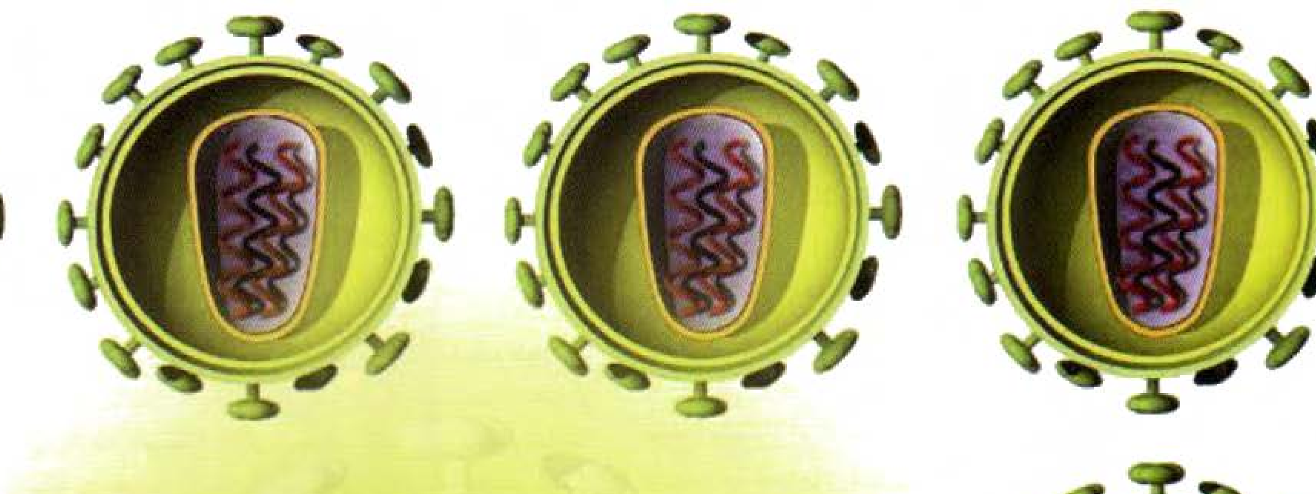
His Excellency: George Washington. Joseph J. Ellis. Vintage, 2005.

1776. David McCullough. Simon & Schuster, 2005.

Skeleton Keys: An Introduction to Human Skeletal Morphology, Development, and Analysis. Second revised edition. Jeffrey H. Schwartz. Oxford University Press (in press).

The Mount Vernon Web site: **www.mountvernon.org**

Scientific American, February 2006



انقضاض جديد على ڤيروس الإيدز(*)

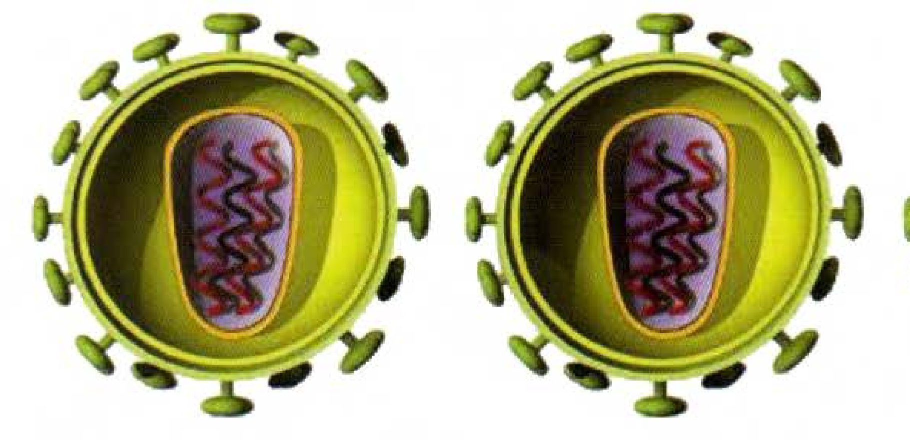
إن الأبحاث المتواصلة، التي أجريت حول مواطن الضعف في الڤيروس HIV (ڤيروس الإيدز)، طرحت أفكارا عن صنف جديد تماما من الأدوية العلاجية.

<G. ستيكس>

ينفق حقل **علم الڤيروسات** virology قسطا وافرا من موارده في استقصاء كل خطوة من الخطوات البالغة الدقة في دورة حياة ڤيروس العوز المناعي البشري (الايدز) HIV، بدءا بارتباطه بإحدى الخلايا المناعية وولوجه داخلها، ومرورا بتنسُّخه فيها، وانتهاء بانطلاق ڤيروسات جديدة من الخلايا المضيفة باحثة عن خلايا جديدة تفترسها. وقد جرى ابتكار أحدث صنف مهم من الأدوية المضادة للڤيروس HIV قبل نحو عقد من الزمن مع إدخال **مثبطات إنزيم البروتياز** protease inhibiters، وهي أدوية توقف عمل أحد الإنزيمات المهمة في المرحلة الأخيرة من تنسُّخ الڤيروس.

لقد تساءل بعض أعضاء فرق الأبحاث التي تدرس الڤيروس HIV عما إذا كان بوسع مثبطات إنزيم البروتياز أن تكون أساسا يُعْتمد عليه في مداواة الايدز. إلا أن ما يتسم به الڤيروس من مكر أضاع ذلك الأمل. فقد تبين في إحدى الدراسات أن ما يقرب من نصف

(*) ANEW ASSAULT ON HIV



المرضى الإيجابيي الفيروس HIV، الذين يعالجون في الولايات المتحدة الأمريكية، مصابون بالعدوى بفيروسات مقاومة لواحد على الأقل من أدوية النظام العلاجي الذي يتلقونه. إن بإمكان الأطباء اختيار دواء من بين عشرين من المستحضرات الصيدلانية لمثبطات إنزيم البروتياز، ومن صنفين من الأدوية التي تمنع الفيروس المهاجم من نسخ ما فيه من **رنا** RNA **إلى دنا** DNA، مسببة بذلك إفساد التنسُّخ الفيروسي. أما إعطاء توليفة من هذه الأدوية فيؤدي إلى معاكسة القدرة المتأصلة لدى الفيروس على التطفُّر. ولكن تلك الاستراتيجية لا تأخذ بالاعتبار دائما المقاومة للأدوية، ومن بينها المقاومة للأدوية المثبطة لإنزيم البروتياز. ويؤكد <E. فريد> [وهو أحد الباحثين في برنامج مقاومة الفيروس HIV للأدوية في المعاهد الوطنية (الأمريكية) للصحة]، بقوله: «إذا أخذنا المقاومة المتزايدة لمثبطات إنزيم البروتياز في الحسبان، فإن تعرُّف طرق جديدة للتدخُّل في دورة التنسُّخ الفيروسي يصبح أمرا بالغ الأهمية.»

وفي الوقت الحالي تمر الأدوية، التي تعترض بداية سيرورة الفيروسات ووسطها ونهايتها ضمن العائل، بمراحل مختلفة من الابتكار والإعداد. ويستلهم الباحثون الأكاديميون والباحثون في الشركة پاناكوس، [وهي مؤسسة صغيرة متخصصة في التقانة الحيوية في ووترتاون بماساتشوستس] ما تحققه الأدوية المثبطة لإنزيم البروتياز من نجاحات، لابتكار أدوية مرشحة للنجاح أيضا أطلقوا عليها اسم **مثبطات النضج** maturation inhibitors، تعمل على إحصار إنزيم البروتياز بطريقة جديدة. إن مثبطات إنزيم البروتياز تشن هجومها المباشر على إنزيم البروتياز في الفيروس HIV فتحول بينه وبين القيام بعمله على البروتين الفيروسي الذي يدعى GAG. وحينما تنقطع البروتينات GAG بشكل ملائم تتضافر القطع الناتجة لتشكل النواة المخروطية الواقية، أو **القُفَيْصَة** capsid التي تحتضن الرنا داخلها. وفي المقابل، إن مثبطات النضج التي يعمل فريق الشركة پاناكوس على تطويرها، تحصر أحد المواقع على البروتين GAG، وهو الموقع الذي يرتبط به إنزيم البروتياز في الحالة السوية، لتمنع هذا الإنزيم من قضم البروتينات GAG على نحو صحيح. ونتيجة لذلك لا تتشكل القُفَيْصَة بشكل سوي، كما لا يتمكن الفيروس من إصابة خلية أخرى بالعدوى.

البحث عن دلالات(*)

منذ منتصف التسعينات بدأ السير في طريق البحث عن الأدوية المرشحة لتكون ضمن اهتمامات فريق الشركة پاناكوس، وذلك حينما تعاونت الشركة بوسطن بيوميديكا مع أستاذ من جامعة كارولينا الشمالية [في شابل هيل] للتحري عن المركَّبات التي استُخلصت من مجموعة أعشاب صينية تقليدية بحثا عن فعالية كيميائية حيوية مضادة للفيروس HIV، وعندها أثارت مختبرات <H.K. لي> الانتباه إلى أن أحد الأدوية المحتملة في إحدى الأعشاب التايوانية سيحتل موقعا متقدما.

وكان لهذا المركب، وهو **حمض البيتيولينك** betulinic acid، فعالية ضعيفة مضادة للفيروس HIV. وبعد أن استفرد الباحثون في المختبر من هذا المركب مكوناته الكيميائية، وجدوا أن التعديل الكيميائي لأحد هذه المكونات يكسبه تأثيرا كيميائيا أقوى. ويقول <G. أولاوي> [رئيس العاملين في الشركة پاناكوس]: «إذا كان لحمض البيتيولينك فعالية مضادة للفيروس HIV على المستوى **الميكرومولي** micromolar، فإن لهذا المركب المشتق منه فعالية على المستوى **النانومولي** nanomolar.»

وقبل ستة أعوام حولت الشركة بوسطن بيوميديكا وحدة الأبحاث حول الفيروس HIV إلى الشركة پاناكوس التي بدأت منذ ذلك الوقت استقصاءاتها عن حمض البيتيولينك، الذي أطلق عليه حينذاك اسم PA-457. ولم يكن المركب PA-457 مجرد مثيل جديد للتاكسول Taxol الذي هو دواء مضاد للسرطان تطلَّب الحصول عليه إتلاف أشجار **الطقسوس** yew، النادرة، وكان ذلك أمرا مثيرا للجدل قبل العثور على بديل له نصف تخليقي. ولم تكن الشركة پاناكوس بحاجة إلى مصدر دائم للأعشاب التايوانية: إذ كان من الممكن استخلاص حمض البيتيولينك من أشجار **الدلب** plane و**البتولا** birch الوفيرة؛ كما لا يتطلب الحصول على الجزيء المطلوب سوى خطوة عملية تصنيع لاحقة.

ومع أن الباحثين أدركوا مابدا من أن للمركب PA-457 فعالية مضادة لجميع ذراري الفيروس HIV، فقد كان عليهم أن يتعرفوا كيفية عمل المركب المشتق من حمض البيتيولينك المضاد للفيروس على المستوى **الجزيئي** molecular. وكان مطلب الشركة الحصول على صنف جديد من الأدوية، وليس الحصول على مركب آخر من مثبطات البروتياز فحسب. ولهذا اتصلت الشركة پاناكوس بالمختبر فريد Freed في المعاهد الوطنية للصحة، الذي يقوم بدراسات حول دورة حياة هذا الفيروس.

Looking for leads (*)

وقد استقر رأي فريق المختبر فريد والشركة باناكوس على أن الدواء يعمل في مرحلة متأخرة من عملية التنسُّخ الفيروسي. وبدا واضحا أن هذا يتم في مرحلة تشكيل القُفَيْصَة. وكان الباحثون حينذاك يعرفون أن قُفَيْصة الفيروس HIV تتشكل حين ارتباط البروتينات GAG الحديثة التكون داخل **الخلية التائية** T cell لدى العائل بغشاء الخلية، وعندها تتقطع بتأثير إنزيم بروتياز الفيروس HIV إلى قطع أصغر حجما. وقد عرف العاملون في مجموعة المختبر فريد والشركة باناكوس أيضا، من خلال ابتكارهم للأدوية المثبطة للبروتينات، أن أي اختلال في عملية تصنيع البروتينات GAG سيجعل الفيروس غير معدٍ. وهكذا بدؤوا بدراسة التآثر بين المركب PA-457 وبين البروتينات GAG للوصول إلى معرفة دقيقة عن كيفية قيام المركب PA-457 بتقطيع البروتينات GAG إلى أجزائها الضرورية.

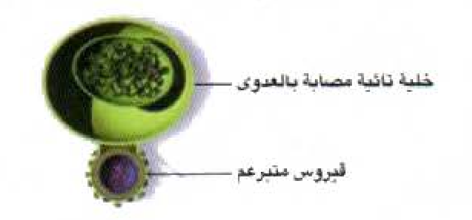
تنمية المقاومة[*]

لكي يفهم العلماء كيف يعمل مركب ما، فإنهم يبدؤون غالبا بإنشاء المقاومة: الأمر الذي يمكّنهم من معرفة الموقع الدقيق الذي يتآثر فيه الدواء مع الموضع المستهدف. وابتغاء تطوير المقاومة أعطى «فريد» وزملاؤه جرعات منخفضة من المركب PA-457 لخلايا تائية مصابة في المستنبتات بالفيروس HIV. وتم بعدئذ الحصول على سلسلة **جينوم (مجين)** genome الفيروسات المقاومة ومقارنتها بسلسلة الفيروس التي خضعت للمعالجة بالدواء PA-457. وأدى التحليل إلى معرفة الموقع الذي تغيَّر في الفيروسات المتشكلة حديثا والمقاومة للدواء PA-457. واتضح أن هذا الموقع موجود على البروتينات GAG في المكان الذي يرتبط به إنزيم البروتياز. وهذا التغيُّر هو الذي حال دون إحصار الدواء PA-457 لفعالية الإنزيم.

ولدى تحليل الذراري المقاومة تيقن الباحثون أن الدواء PA-457 لم يكن مجرد مثبط آخر من مثبطات إنزيم البروتياز. ففي حين تعمل معظم الأدوية، وليس المثبطة

استراتيجية جديدة لعلاج الفيروس HIV[**]

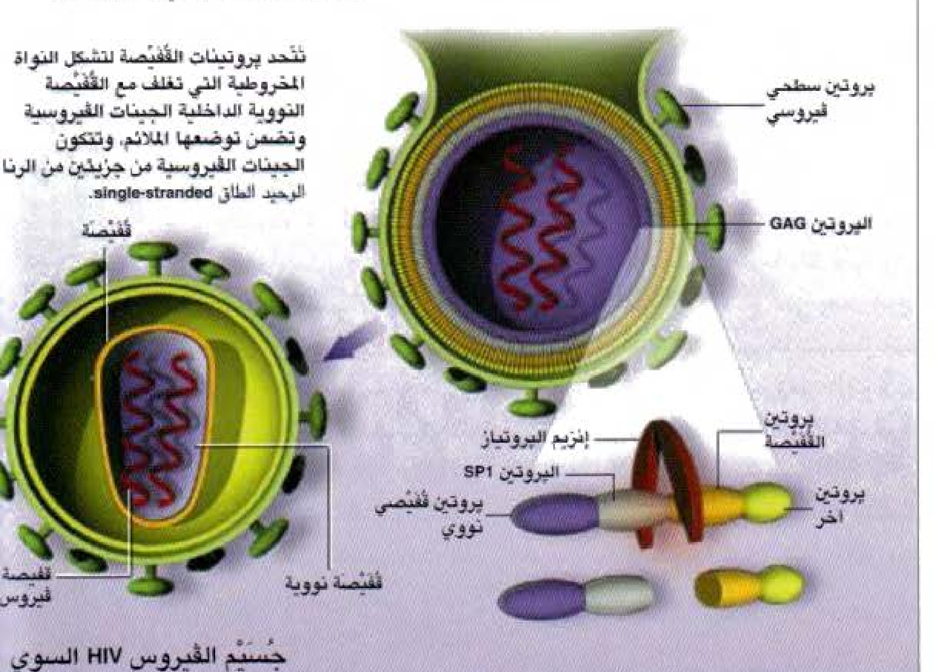
تشكل مثبطات النضج صنفا جديدا من الأدوية المضادة للفيروس HIV التي لاتزال قيد الدراسة. وتهاجم
هذه الأدوية الفيروس في مرحلة متأخرة من دورة حياته عندما تتجمع مكونات الفيروس الحديثة التشكل



النضج السوي للفيروس HIV

ما إن يبزغ الجسيم الكامل للفيروس HIV - مغلف
بغلاف مصنوع من غشاء الخلايا التائية وعارض
بروتينات فيروسية على سطحه - حتى ينعين
على إنزيمات البروتياز الفيروسية أن تقطع
جزيئات من البروتين GAG لتشكيل بروتينات
اخرى أصغر [*التفصيل في أسفل اليمين*].

تتحد بروتينات القُفَيْصة لتشكل النواة المخروطية التي تغلف مع القُفَيْصة النووية الداخلية الجينات الفيروسية وتضمن توضعها الملائم. وتتكون الجينات الفيروسية من جزيئين من الرنا الوحيد الطاق single-stranded.



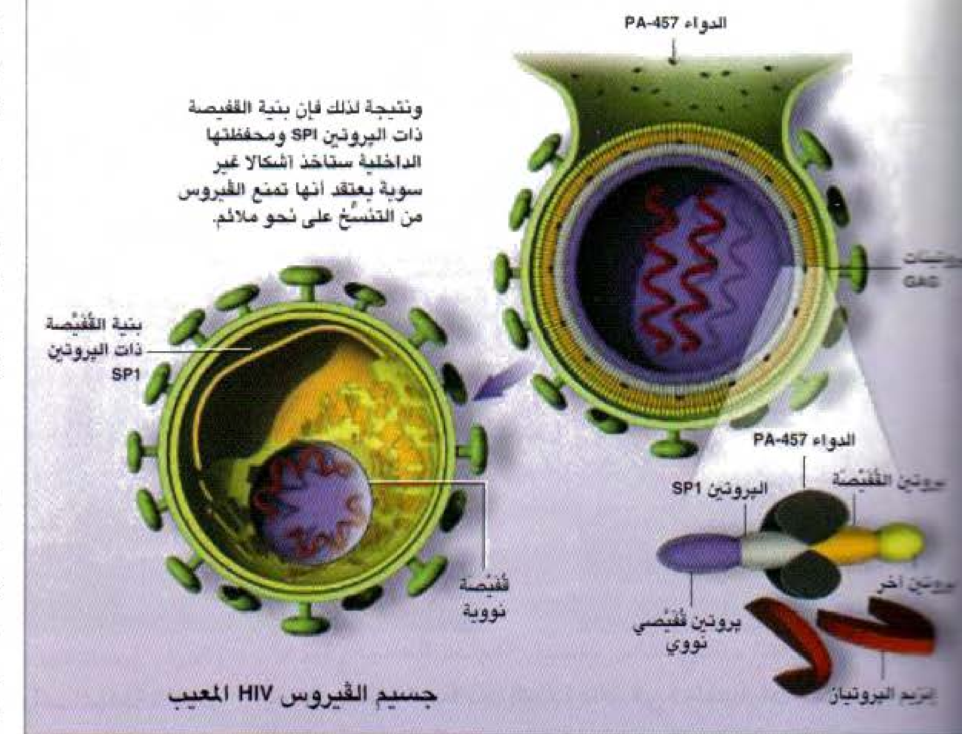
جُسَيْم الفيروس HIV السوي

للفيروس HIV فحسب، من خلال التدخل بالإنزيمات. فإن لهذا الدواء ميزة فريدة يوضحها «أولاوي» بقوله: «إن استهداف **الركيزة** substrate [بدلا من الإنزيم] لم يكن أمرا معروفا من قبل، بل كان أمرا مثيرا للدهشة. ونتيجة لذلك، نعتقد أننا سنحظى بموقع قوي للحصول على براءة اختراع.»

إن زرع ذرارٍ مقاومة لا يعني بالضرورة أن الدواء سيكون ذا **مدى عمر** life span علاجي محدود. وفي الحقيقة إن المقاومة تجاه الدواء PA-457 لن تتطور بسرعة، لأن الموقع الذي يرتبط به على البروتين GAG لا تغيره الطفرات سريعا من إحدى ذراري الفيروس HIV إلى أخرى.

لقد مر الدواء PA-457 قبل الآن عبر الطور المتوسط من دراسة سريرية (إكلينيكية)، وهو الطور الذي يتحقق الباحثون فيه من فعالية الدواء لدى مرضى يتناولونه مدة عشرة أيام ومقارنتها بمجموعة أخرى تعطى **دواء غُفْلا** placebo. إن الفيروس HIV يتنسخ بسرعة كبيرة إلى درجة تجعل من الممكن اعتماد دراسة قصيرة الأمد لتقرير ما إذا كان الدواء يهاجم العامل المسبب للمرض داخل الجسم. وقد تناقصت المستويات الفيروسية بمقدار 92 في المئة لدى تناول الجرعة الأعلى من الدواء، ومقدارها 200 ملّيغرام. وكانت الدراسة تهدف إلى تحقيق نقص يعادل 70 في المئة على الأقل فيما يدعى **الحِمْل الفيروسي** viral load، كإشارة بدئية إلى فعالية الدواء. إلا أن بعض المرضى مع ذلك لم يستجيبوا للدواء، وستقرر الشركة في الطور التالي من

(*) Cultivation of Resistance
(**) A Novel Treatment Strategy for HIV



الاختبار فيما إذا كان بمقدورها إعطاء جرعات أعلى. ويقول <D. M> جاكوبسون> [رئيس قسم الأمراض المعدية في كلية الطب بجامعة دريكسل، والباحث الرئيسي في الاختبارات السريرية]: «إن الرسالة الأساسية هي أننا بصدد دواء فعال، ويجب علينا المضي قدُما بالأبحاث.»

وفي الجولة القادمة سيدرس الباحثون التأثرات المتبادلة بين الدواء PA-457 وبين غيره من الأدوية؛ وهو اختبار ضروري في جميع الأدوية المرشحة المضادة للقيروس HIV: إذ لا توجد معالجة تقتصر على إعطاء دواء وحيد، نظرا لما يحمله ذلك من تهديدات ظهور المقاومة. وفي الوقت الراهن تشجع إدارة الغذاء والدواء الأمريكية (FDA) إجراء هذه الاختبارات في مرحلة مبكرة من التجارب السريرية. وفي بعض الأحيان لم يكتشف الباحثون، حين تطويرهم أدوية جديدة مضادة للقيروس HIV، هذه التأثرات إلا في وقت متأخر من سيرورة التجربة السريرية. وإذا ما سارت الأمور جميعها وفق الخطة الموضوعة لها، فسيكون بمقدور الشركة پاناكوس التقدم بطلبها إلى إدارة الغذاء والدواء للحصول على الموافقة النهائية بحلول عام 2008.

حوافظ أخرى لعدم النضج(*)

ومع أن الدواء PA-457 هو أكثر مثبطات النضج إحرازا للتقدم نحو الاستثمار التجاري، فإنه ليس المثال الوحيد على مثبطات النضج؛ ففي كل من جامعة ألاباما وجامعة ميريلاند كشف الباحثون، الذين كانوا يعملون مستقلين من الجامعتين، جزيئات عضويةً صغيرة يمكنها الحيلولة دون انضمام وُحيْدات (وحدات فرعية) subunits القفيصة بعضها إلى بعض لتشكيل الغلاف النهائي. ويقول <P. بريغيليج> [الأستاذ في قسم علم الأحياء المجهرية بجامعة ألاباما]: «نحن نحاول أن نشوّه الأجزاء، كي نجعلها غير متلائمة بعضها مع بعض.»

وتتماشى هذه الاستراتيجية مع الأساليب الأخرى التي هي في طور الإعداد لإفساد دورة حياة القيروس. فالعوامل المثبطة لدخول القيروس - والتي تشتمل على هذا الدواء الذي تعمل عليه الشركة پاناكوس - تحول دون دخول القيروس إلى الخلية. (وقد حاز مؤخرا أحد العوامل المثبطة لدخول القيروس إلى الخلايا - وهو يؤخذ عن طريق الحقن - على موافقة إدارة الغذاء والدواء، إلا أن الدواء الذي تعده الشركة پاناكوس يؤخذ عن طريق الفم.) ومن الأصناف الأخرى للأدوية التي وصلت إلى المراحل النهائية من الاختبارات مثبطات **إنزيم الإنتكراز (إنزيم الدمج)** integrase، التي تحبط عمل الإنزيم الذي يسمح للدنا القيروسي الصنع بالاندماج ضمن دنا الخلية العائلة لإنتاج دنا قيروسي جديد. إن هذه العوامل البيولوجية جميعها - والمزيد منها - ضرورية. وفي غياب لقاح - لا يتوقع ظهوره على المدى القريب - فإن هذا القيروس الوضيع ذا المحفظة التي لا يتجاوز قياسها نانومترا واحدا لرنا وحيد الطاق، سيستمر في مراوغة أفضل الأفكار التي يطرحها علماء البيولوجيا الجزيئية. ■

(*) Other Immaturity Preservers

مراجع للاستزادة

PA-457: A Potent HIV Inhibitor That Disrupts Core Condensation by Targeting a Late Step in Gag Processing. F. Li et al. in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 100, No. 23, pages 13555–13560; November 11, 2003.

The Prevalence of Antiretroviral Drug Resistance in the United States. Douglas D. Richman et al. in *AIDS*, Vol. 18, No. 10, pages 1393–1401; July 2, 2004.

The Discovery of a Class of Novel HIV-1 Maturation Inhibitors and Their Potential in the Therapy of HIV. Donglei Yu et al. in *Expert Opinion on Investigational Drugs*, Vol. 14, No. 6, pages 681–693, June 2005.

Scientific American, June 2006



حماية تتعدى عالَم الحيوان[*]

غالبا ما تؤدي اختبارات السلامة الفائقة الدقة إلى فائدة غير متوقعة تقلل من معاناة الحيوان.

<M.A. كولدبيرك> ـ <Th> هارتونك>



خلال عدة أشهر من عام 1999، كانت الأرانب المزغبة الأقدام وذات الآذان الكبيرة العريضة والعيون الحزينة، تطارد مرشح الرئاسة <A. كور> أثناء حملته الانتخابية. وتعود جريمة <كور> [نائب الرئيس] إلى أنه سبب معاناة أو نفوق نحو مليون حيوان نتيجة مبادرته لإطلاق برنامج الاختبارات السمية الكيميائية. ويعتقد معظم المراقبين أن هذا البرنامج جاء متأخرا جدا.

قبل عامين من ذلك كانت المجموعة التي تدعى حاليا حماة البيئة، قد استنتجت أن هناك معلومات كافية مؤكدة حول سلامة نحو ربع المئة ألف فقط من المواد الكيميائية الشائعة الاستعمال، وأن كلا من وكالة حماية البيئة ومجموعة التجارة المعروفة حاليا بالمجلس الكيميائي الأمريكي، كانتا قد وافقتا على ذلك. لقد دعا <كور> جميع الجهات المهتمة بالموضوع ـ الفعاليات البيئية، المنظمون والمصنعون ـ إلى المبادرة ببدء برنامج لإنجاز اختبارات السلامة الدنيا على 2800 مادة كيميائية تنتجها الولايات المتحدة الأمريكية أو تستوردها بأكثر من مليون رطل (پاوند) في العام الواحد. ويمكن الاطلاع على هذه المعلومات، التي تم الحصول عليها على موقع عام في شبكة الوب web.

لقد أكد الأرنب العملاق على الحقيقة الأساسية التالية: يُضحى سنويا بملايين الحيوانات في اختبارات السمية الروتينية، ويمكن أن تسبب البرامج المستقبلية زيادة كبيرة في هذه الأرقام. لقد وضعت وكالة حماية البيئة EPA قائمة أولية لنحو ثمانين ألف مادة كيميائية، يجب أن تجمع حولها معلومات السلامة الأساسية؛ إضافة إلى ذلك فهي تطمح إلى المطالبة **بمبادرة لحماية صحة الطفل** Children's Health Initiative وذلك بفحص الظواهر المرافقة، مثل التأثيرات الطويلة الأمد لتعريض الأجنة للمادة الكيميائية. في حين ركّزت جهود أخرى لوكالة حماية البيئة على العواقب العصبية للتعرض للرصاص وللزئبق وللسموم المشابهة الأخرى في الإنجاب والنمو أو التنامي. وعبر المحيط الأطلسي سوف يقوم **برنامج التسجيل والتقييم والترخيص للكيميائيات** Registration, Evaluation & Autorization of CHemicals (المسمى اختصارا REACH) بتقييم سلامة ثلاثين ألف مادة كيميائية منتجة أو متاجر بها في أوروبا بما يزيد على طن متري واحد (1000 طن) سنويا. وفي عام 2001 قام مجلس الأبحاث الطبية البريطاني بحساب تكلفة هذا البرنامج لوحده والتي تقدر بنحو 11.5 بليون دولار ويتطلب مدة تصل إلى 40 عاما وإلى استخدام ما يزيد على 13 مليون

(*) PROTECTING MORE THAN ANIMALS

طالبت مجموعة صغيرة من العلماء تنتشر حول العالم ولعدة عقود بإيجاد طرق لحل الصراع بين السلامة والرفق بالحيوان.

حيوان واجمالا. تترقب البرامج الحالية استخدام مئات الملايين من الحيوانات وعشرات البلايين من الدولارات لتحديد سلامة المواد الموجودة في الأسواق فقط. وفي كل عام تضيف الصناعة إلى قائمة اختراعاتها الآلاف من المواد الكيميائية.

قام باحثان من مجموعتنا [ينتميان إلى جماعة صغيرة من علماء ينتشرون حول العالم في نطاق الصناعة والجامعات والحكومات] بالمطالبة لعقود بإيجاد طرق لحل الصراع بين السلامة والرفق بالحيوان. يوفر لنا برنامج ‹كور› فرصة لتوضيح تحذيراتنا. وبناء على طلب **حماة البيئة** Environmental Defense، دعا أحد الباحثين [وهو الذي ينتمي إلى مجموعتنا ‹گولدبيرگ›] باحثين آخرين [من جامعة جون هوپكنز وجامعة كارنيگي وجامعة پيتزبورگ] إلى استقصاء كيف يمكن لبرنامج ‹كور› أن ينجز أهدافه بأقل عدد من الحيوانات.

كان البرنامج يتضمن جمع أقل كمية ممكنة من المعلومات، تسمى مجموعة مسح بيانات المعلومات التي أوصت بها منظمة التعاون الاقتصادي والتنموي (OECD) لتقييم الخطر الكامن في المواد الكيميائية. تتطلب **حاشدة** battery الاختبارات هذه بشكل نموذجي 430 حيوانا لكل مادة كيميائية. ولحسن الحظ، تقبل المنظمة OECD - التي تطالب بتنسيق القواعد العلمية وغيرها لثلاثين بلدا صناعيا، من ضمنها الولايات المتحدة الأمريكية - بروتوكولات مبتكرة محددة لحاشدة مجموعة البيانات، والتي تتطلب عددا أقل من الحيوانات. استطاع الخبراء باستخدام إرشادات المنظمة وأيضا باستخدام بعض البروتوكلات المعادة التصميم، استخلاص نتائج متعددة من اختبارات مفردة، وقد بيّنا أنه يمكن إنقاص عدد الحيوانات نحو 80% - أي إلى 86 حيوانا - دون فَقْد للمعلومات.

تم الطعن طويلا في الأبحاث المجراة على الحيوانات من قبل ناشطين، وذلك للاعتذار عن هذه الأبحاث. وقد استهزأ بهم العديد من العلماء، وادّعوا أنهم مدفوعون بشعور عاطفي مفرط تجاه الحيوانات. وعلى الرغم من ذلك فقد وجد علم البدائل للاختبار على الحيوان نقطة تلاقٍ ضيقة بين الرفق بالحيوان والعلم الدقيق. يبدل هذا الحقل الطرائق التي يتم فيها تطوير المواد الكيميائية والمنتجات البيولوجية واختبار سلامتها.

اختزال، تحسين، استبدال(**)

تتفاوت المتطلبات المشروعة للاختبارات بشكل كبير حول العالم. ففي الاتحاد الأوروبي، على سبيل المثال، لم يعد بالإمكان منذ عام 2003 بيع أية مادة تجميلية في منتج نهائي أو أي من مكوناتها يجري اختبارها على الحيوانات، في حال وجود بدائل معتمدة. ويجب أن يصبح تحريم إجراء الاختبارات على مكونات المواد التجميلية على الحيوانات مطبقا في عام 2009. وفي المقابل، فإن إدارة الغذاء والدواء الأمريكية (FDA)، التي تنظم المواد التجميلية في الولايات المتحدة الأمريكية، تطلب فقط توافر بيانات سلامة معينة. ويزداد تأكيد هذه المتطلبات بعد تسويق هذه المواد. وبمرور الوقت، طورت إدارة الغذاء والدواء إرشاداتها في التعامل مع الشكاوى المتعلقة بالسلامة؛ يتعلق هذا الطلب، بشكل خاص، **باختبار درايز العيني**Draize eye test المثير للجدل. ويتطلب البروتوكول في هذا الاختبار، وضع المادة في عيون الأرانب البيضاء لقياس التفاعل المحدث.

إن كلا من وكالة حماية البيئة (EPA) ونظرائها الأوروبيين، من جهة أخرى، يحددون المنهج اللازم لتقييم المادة الكيميائية الزراعية. فاختبار مبيد حشري واحد يتطلب سنتين على الأقل ونحو عشرة آلاف حيوان من أنواع مختلفة. يقرر العلماء أولاً فيما إذا كانت المادة الكيميائية تمتص من خلال الجلد، أو أنها يمكن أن تستنشق، أو فيما إذا كانت تترك أثرا في المحاصيل الغذائية، والتي يمكن بذلك أن تدخل الجسم. في كل من هذه المسالك، هناك حاجة إلى الإجابة عن أسئلة مختلفة - على سبيل المثال، الفترة التي يمكن أن يتعرض لها أحد الأشخاص، ما هي كمية المادة التي يمكن أن يمتصها الجسم، وكيف يمكن لها أن تتوزع فيه، وذلك لأجل كل فرد وفي أعمار مختلفة، بما في ذلك الأجنّة.

إذا لم يدخل المُنتج إلى المجرى الدموي، يتجه قلق الباحثين فقط نحو عواقب التطبيق الموضعي للمادة الكيميائية. أما إذا كان المركّب يمكن امتصاصه إلى المجرى الدموي، عندها يجب

نظرة اجمالية/ علم السموم الجديد(*)

- **عادة ما يستهلك اختبار سلامة المواد المنزلية والزراعية وغيرها من المواد الكيميائية كما هي حال المنتجات الطبية ملايين عديدة من الحيوانات كل عام في إعداد البروتوكولات التي غالباً ما تكون مؤلمة جدا.**
- **الطرائق الجديدة - التي تشمل استنبات الخلايا والنسج، وهي تصور غير عدواني أو إحصائيات سهلة - والمعاناة المشمولة بها، تقلل كثيرا الحاجة إلى الاختبار على الحيوان.**
- **علم السموم الجديد هو علم أكثر دقة ويعتمد على أدلة علمية ويمكن له أن يوفر الزمن والمال.**

(*) Overview/ The New Toxicology
(**) Reduction, Refinement, Replacement

(البدائل) علم جديد ينضج*

اختبارات السلامة التقليدية	البدائل
حركية السم toxicokinetic تقيس امتصاص وتوزع واستقلاب وإطراح المادة الكيميائية. تُغذّى الحيوانات بالمادة الكيميائية التي تُجمع منها عينات الدم والبول والبراز وبعدها تقتل الحيوانات لإيجاد 100% من المركب الأصل ومستقلباته في أعضاء الأجهزة في الجسم	استبدلت الصناعة الاختبارات جزئيًا بتجارب في المختبر وفي السيليكون. وافقت المنظمة OECD على المقاربة **في المختبر** *in vitro* من أجل الامتصاص الجلدي
علم السموم الموضعي topical toxicology يُقيم تأثيرات المادة الكيميائية في الجلد والعيون، وأحيانا في الأغشية المخاطية الفموية المهبلية بوضع المركب على الغشاء، ثم يُفحص الاحمرار والتقرح والتآكل	قبلت المنظمة OECD ببدائل لأجل التآكل والسمية الضوئية والتحسس. وهناك تقدم في دراسات المصادقة من المركز الأوروبي ECVAM من أجل التهاب الجلد والعين والتفاعلات الارجية والسمية الضوئية
السمية المجموعية أو الجملية الحادة acut systemic toxicity تحدد تأثيرات تناول مادة لمرة واحدة أو لعدة مرات خلال 24 ساعة، مع توالي القياس خلال 14 يوما. وتشمل الجرعة المميتة الكلاسيكية لنصف حيوانات التجربة LD_{50} تقديم جرعات مختلفة من المادة لست أو سبع مجموعات من الحيوانات لتحديد الجرعة المتوسطة اللازمة لقتل نصف حيوانات المجموعة. إنها تتطلب بشكل نمطي 140 حيوانا	برهنت منظمة التعاون الاقتصادي والنموي OECD على استراتيجية الحاجة إلى ستة عشر حيوانا في المتوسط. يطور المركز ECVAM استراتيجية لا يُستعمل فيها أي حيوان. تفحص اللجنة ICVAM والمركز ECVAM سوية المقاربة في المختبر لتحديد الجرعة الأولية لدراسة الجرعة المميتة LD_{50} لنصف حيوانات التجربة التي يمكن أن تختزل عدد الحيوانات إلى ستة لكل مادة كيميائية
سمية تكرار الجرعة والسمية المزمنة repeat Dose/ chronic toxicity هي اختبارات تقيس قصور عضو الجهاز عن انجاز وظيفته الطبيعية تحت التأثير المستمر لمادة كيميائية. وهناك العديد من الطرائق المطبقة على الحيوان هي قيد الاستعمال. إنها تتطلب تقديم جرعات إضافية عديدة إلى العضوية وتقييم الحصيلة	لم يُصادق رسميا على أي اختبار. تتضمن المقاربات المستعملة قياس وظائف خلوية معينة وحصيلة جينات كثيرة. وكذلك دراسات نوعية مؤذية للحيوان. متضمنة التصوير MRI والمسح الطبقي المحوري (PET) و**الفوتونات الحيوية** biophotonics
السمية على التنامي والسمية على التكاثر developmental/ reproduction toxicity تقيس تأثيرات التعرض للمادة الكيميائية في النطاف وفي البيوض، وفي تطور الأجنة وقابلية الإنجاب، وكذلك أية تأثيرات متأخرة بعد البلوغ. عولجت اناث حيوانات بمركب. وقيست حصيلة التوالد وتقيس اختبارات مشابهة على الذكور صحة الذكر التوالدية	تطبق في الصناعة دراسات غير مؤذية على حيوانات كاملة، وهناك كثير من المقاربات في المختبر. صادق المركز ECVAM على ثلاث طرائق لسمية الأجنة. وهناك طرق أخرى الآن في طور ما قبل المصادقة
العوامل المسرطنة / العوامل المطفرة carcinogenensis/ mutagenensis تقيس دراسات إمكان مركب ما لإنتاج أورام نظريا تُعرض الحيوانات طوال حياتها للمركب، وتُقوّم الأورام الناتجة. وفي الواقع إن الدراسات على الحيوانات نادرة بسبب تكلفتها العالية	وهناك العديد من المختبرات تستعمل **مقايسات ايمز للطفرات البكتيرية** Ames Bacterial Mutagenesis Assay وغيرها من الاختبارات في المختبر، التي تراقب التطفير في البكتيرات أو في الخلية. ومازال هناك العديد من دراسات مصادقة المركز ECVAM في طريقه للانجاز
علم السموم البيئي ecotoxicology يقيس التأثيرات البيئية للمادة الكيميائية. ولكونها حديثة نسبيا، بدأت هذه الدراسات باستعمال بدائل أهداف، مثل الأسماك والطحالب وبراغيث الماء	قبلت كل من ألمانيا والسويد اختبار بيض السمك لأجل **الدفق** effluent. وصادق المركز ECVAM على استراتيجية لاختزال استخدام الأسماك إلى 60%
الاختبارات البيولوجية biological testins تقيس نوعية اللقاحات وغيرها من الأدوية ذات المنشأ البيولوجي وتتحرى عن التلوث بوساطة ذيفانات البكتيرات المسببة للحمى (البيروجينات pyrogens). عادة ما يعطى اللقاح أو الدواء إلى مجموعة من الحيوانات. ويُدخل المرض المستهدف إلى هذه المجموعة وإلى مجموعة غيرها غير محصنة، لمقارنة المرض الناتج	ويستعمل لأجل البيروجينات اختبار دم واحد (ALA). ونحن مصادقة مقايسة جديدة للسيتوكين cytokine. وقام المركز ECVAM بمصادقة تقانات إحصائية لإنقاص عدد الحيوانات ولتحسين درجة إنقاص المعاناة خلال فترة اختبار اللقاح

OECD = منظمة التعاون الاقتصادي والتنموي
ECVAM = المركز الأوروبي للمصادقة على الطرائق البديلة
ICCVAM = لجنة تنسيق بين الوكالات للمصادقة على الطرائق البديلة

A Fledgling Science Matures (*)

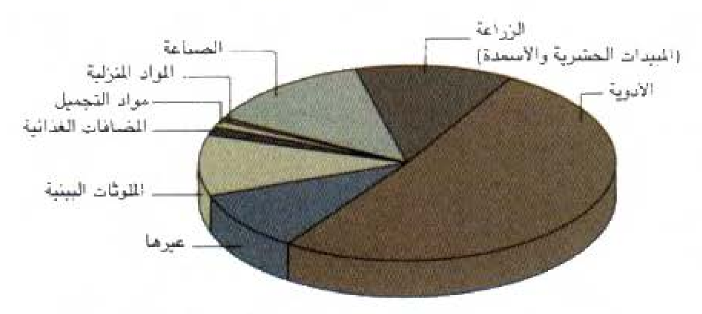
فحص آثاره وآثار كافة مستقلباته في الأعضاء المختلفة. في الإجراء المعياري يقوم الباحثون بإطعام المادة للجرذان وللفئران وللكلاب أو لأي حيوان ثديي آخر طوال فترة حياته، ويُراقب حدوث خلل في العمل الوظيفي لأعضاء مختلفة أو تَشَكُّل السرطانات وغيرها من الاعتلالات في الجسم. كما أنهم يلاحظون مجموعة أنسال هذه الحيوانات طوال حياتها. يمكن إدراج اختبارات أكثر استهدافا في هذا النظام أو يمكن إجراؤها بشكل منفصل.

وفي الحقيقة، لقد كشف ممثلونش أو مندوبون من تسع شركات متعددة الجنسيات لـ «كولدبيرگ» عن أن جميع الشركات تستعمل الاختبارات على أطباق البتري (أطباق دائرية صغيرة تستخدم لزرع الجراثيم) أو على حيوانات غير ثديية، عادة ما تشمل الأسماك أوالديدان، ليقرروا فيما إذا كانت المادة الكيميائية آمنة بشكل كاف لإنتاجها. عندها فقط يقومون بإنجاز الدراسات ـ الإطعام طوال الحياة ـ وذلك لإرضاء المحامين لدى الشركات والوكالات النظامية. يبين الجدول في *الصفحة المقابلة* الحاشدةَ الكاملة للاختبارات على الحيوانات المتطلبة بشكل عام لتقييم سلامة المادة الكيميائية أو الدواء. يُطالب المنظمون الحكوميون، بشدة نوعا ما، بإجراء اختبارات تقليدية على الحيوانات لأن بعضا من أفضل البدائل يُعد أسرارا صناعية، وأيضا لأنهم يثقون بالاختبارات على الحيوانات، التي قامت، بشكل كبير، بوقاية العامة في الماضي.

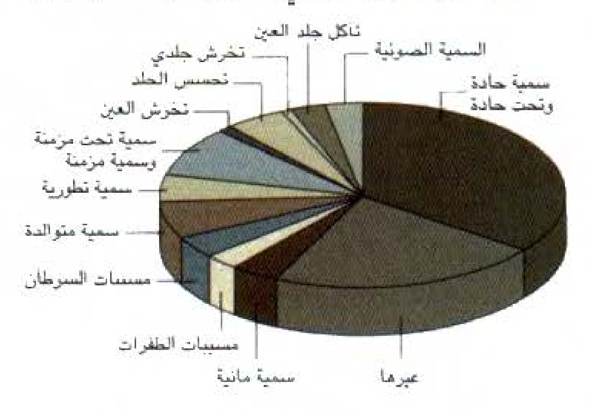
وفي الفترة الأخيرة فقط صار المنظمون أكثر انفتاحا لاحترام البدائل. ويعود تاريخ مفهوم البدائل إلى عام 1959، عندما قرر «W. روسيل» و«R. بورش» [من **اتحاد الرفق بالحيوان** Animal Welfare في جامعات المملكة المتحدة] اعتماد «**ثلاثية RS**» three ـ الاختزال، التحسين، الاستبدال ـ بمعنى اختزال معاناة الحيوانات المرافقة لكثير من الدراسات. ولا يمكن للبدائل أن تكون مناسبة تماما تجاه واحد أو أكثر من ثلاثية Rs، ولكنها تبقى دلائل مفيدة.

يعني **الاختزال (الإنقاص)** reduction تصميم تجارب تمكِّن من إعطاء معلومات كافية بأقل عدد من الحيوانات. على سبيل المثال، تقاس اختبارات السمية الجهازية الحادة العواقب، كما لوحظ خلال 14 يوما، بإعطاء المادة مرة واحدة إلى عدة مرات خلال 24 ساعة لقد كان القياس الأكثر قبولا للسمية الحادة هو الجرعة المميتة لنصف حيوانات التجربة، أو ما يسمى LD_{50}. وهي كمية المادة اللازمة لقتل نصف حيوانات الاختبار. ولتحديد الجرعة المميتة، يقوم المجربون بحقن أو بإطعام كمية محددة مسبقا من المادة الكيميائية لكل حيوان في مجموعة مكونة من 10 حيوانات ذكور و10 حيوانات إناث. وباستخدام ست أو سبع مجموعات متشابهة، تعطى كل منها جرعة مختلفة، ثم يتم إحصاء الحيوانات النافقة.

استعمال الحيوانات في اختبار المنتجات



استعمال الحيوانات في اختبار المواد الكيميائية



يتغير عدد الحيوانات اللازمة لأجل غايات اختبار مختلفة بشكل واسع. وبشكل غير دقيق فإن نصف الحيوانات المستخدمة في اختبار المنتج يكون لأجل مراقبة نوعية المنتجات الطبية مثل اللقاحات (*المخطط في الأعلى*)، وتحديد سمية المادة الكيميائية (*المخطط في الأسفل*) يتطلب عددا كبيرا من الاختبارات العالية النوعية، ومنها السمية الحادة ـ الناتجة من التناول العرضي لكمية كبيرة من المادة ـ التي تستهلك نسبة مرتفعة من الحيوانات. إن البيانات في كلا المخططين تخص الخمس عشرة دولة الأعضاء في المفوضية الأوروبية لعام 2002، التي استعملت 10.7 مليون حيوان في ذلك العام. ولا تتوافر تحاليل مشابهة في الولايات المتحدة الأمريكية.

يأتي المجربون تدريجيا لمشاهدة نتائج هذا الاختبار (عذرا عن التلاعب بالألفاظ) حتى يتم قتل جميع الحيوانات وإرضاء المزيد من البروتوكولات العصرية. ومنذ عام 1989 سمحت إحصائية معقولة بالحصول على الجرعة LD_{50} باستخدام 45 حيوانا. والآن تقبل المنظمة OECD بالبروتوكول الذي يقيس الجرعة المميتة باستخدام 16 حيوانا في المتوسط. وهناك دراسة انتهت مؤخرا عبر المحيط تعدُ بمزيد من الاختزال لعدد حيوانات التجربة إلى نحو ستة حيوانات لكل مادة.

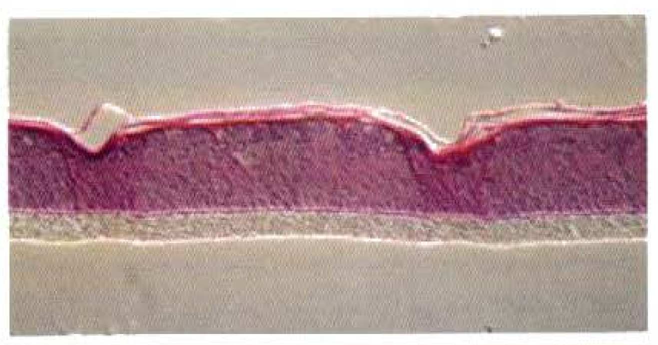
وفي مثال آخر، يمكن أن تكشف تقانات التصوير غير المؤذية والمألوفة في الطب السريري ـ أشعة أكس x-rays، **الرنين النووي المغنطيسي** nuclear magnetic resonance **والإصدار البوزيتروني المقطعي** positron-emission tomography ـ عن الفوارق الكبيرة بين حالات طبيعية وحالات مصابة من أعضاء الحيوان. وهذه التقانات تسمح للباحثين بمتابعة حيوان

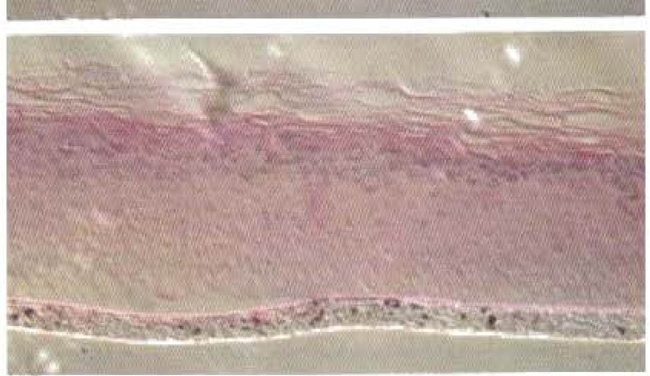
مفرد خلال دورة التجربة كبديل للإجراء التقليدي مبتدئين بمجموعة من الحيوانات وبقتل حيوان واحد من كل مجموعة في كل مرحلة لتحديد حالة الكبد. ويسمح مثل هذا التصوير بمراقبة أفضل للبيانات ويختزل أيضا الحيوانات المستخدمة في مثل هذه الاختبارات بنسبة تصل إلى 80%

وثمة المزيد من أنواع التصوير المستقبلية، **الفوتوني الحيوي** biophotonics، المطورة من قبل كل من <R .P. كنتاك> و <H .Ch. كنتاك> [من جامعة ساندفورد]، تصبح أكثر إتقانا في عالم التحسين: تصميم تجارب تتطلب معاناة أقل للحيوانات. لقد أضاف الباحثون جينة (مورِّثة) **لإنزيم اللوسيفيراز** luciferase enzyme، على سبيل المثال، إلى خلية سرطانية وأُدخلت الخلية إلى الحيوان. يمنح الإنزيم القابلية لإنتاج «براعة» ضوء، مؤكدين أن الخلية السرطانية وجميع بناتها تتوهج. ويتم قياسها بسهولة بمعدات خاصة، حيث تسمح الفوتونات للباحثين بمراقبة النمو السرطاني تحت تأثير مادة كيميائية وعوامل صيدلانية مختلفة ـ وتشخيصه المبكر قبل أن تطور الحيوانات أوراما قابلة للجس. يزيل هذا الإجراء الألم والإزعاج حقا، ويمكن أن يتم تبنيه لدراسة تنوع واسع من الأمراض في مراحلها الأولية.

ثمة تقنية تحسين قيمة أخرى، مفيدة بشكل خاص في اختبار اللقاح، متضمنة تحديد «**نقطة للشفقة أو الرحمة الحدية**» humane end point، وبذلك تُنهى الدراسة المؤلمة حالما يتم جمع البيانات المرتبطة بها. على سبيل المثال، إذا انخفضت حرارة جسم الحيوان تحت نقطة معينة، فإنها لا تعوض. عندها يمكن إيقاف الاختبار بدون ضياع للبيانات لإبقاء المخلوق على قيد الحياة على طول الجرعات. إذا لقح حيوان ضد داء الكلب وأعدي (خُمج) هذا الحيوان بالڤيروس يبدأ بالدوران، والذي هو علامة أكيدة على فشل اللقاح، ويمكن من حيث الرفق بالحيوان قتله، أو تركه لساعات يصارع الموت. والأفضل بشكل أكيد، في هذه الأيام قيام التقنيين باختبار فعالية العديد من اللقاحات فقط بفحص مستوى **الأضداد** antibodies بعد إعداء (إخماج) الحيوان، بدلا من انتظار ظهور علامات صريحة للمرض. ويتضمن التحسين أيضا استخدام الأدوية والمخدرات لتخفيف الألم والضائقة.

حتى الآن يمكن لصنف آخر من التحسين أن يستعمل أنواعا أدنى في السلم التطوري كبدائل، اعتقادا بأنها ستكون أقل معاناة. فخلال السنوات القليلة الماضية، أصبحت **أسماك الزرد** zebra fish والديدان المسماة *Caenorhabditis elegans* شائعة لملاحظة تنامي الجهاز العصبي تحت تأثير الكيميائيات. وفي كل من هذين النوعين، أثبت العلماء وظيفة جميع الجينات الأولية: إذا سببت مادة كيميائية تنشيط الجينة أو تثبيطها، فإنه يعلم الباحثون أثر التبدل في إنتاج البروتينات والاستقلاب





يمكن أن يعوض الجلد الصنعي مكان الجلد المحلوق من ظهر الأرانب الحية في اختبارات التآكل للمواد المختلفة. وهذا «الجلد» التجاري أخضع للماء (*في الأعلى*) وللقلوي (*في الأسفل*) لثلاث دقائق.

الخلوي. وببساطة فإن تأثير المادة الكيميائية في عدد كبير من الجينات (بوصة واحدة إلى اثنتين من الشيبات الخاصة بسمك الزرد تحتوي على 9000 جينة) يسمح للباحثين بمعرفة أي جينة قامت المادة الكيميائية بتنشيطها.

والأحدث من ذلك، بدأت بعض الشركات باستعمال شيپات من الجينات البشرية، متضمنة تلك التي تخص جينات، يعتقد بأنها تضبط الاستجابة الخلوية السمية تمثل هذه التقنية، التي ستصل إلى الذروة في المستقبل ـ لأن فهم رسالة الشيبة يبقى تحديا كبيرا ـ لمعظم مميزات الاستبدال.

البديل الثالث[*]

الاستبدال يعني التخلص الكلي من استخدام كامل الحيوانات في الاختبار. وتدين معظم أمثال هذه البدائل بوجودها إلى التقدم المجتمعي الهائل نحو تقانات رخيصة، سريعة وفعالة، أكثر من البحث عن الرفق بالحيوان في الجوهر. على سبيل المثال، معظم تحاليل الهرمونات ـ مثل اختبار الحمل، التي اعتمدت في السابق على طرائق عافها الزمن مستخدمة حيوانات حية ـ تُنجز اليوم بوسائل بديلة (مادة كيميائية أو مناعية).

ومن الأمثلة المبكرة للاستبدال، كان الاكتشاف الاتفاقي في السبعينات لاختبار بديل عن اختبار الحميات (الپيروجينات) من قبل <H. فاكنر> [من جامعة جون هوپكنز]. ويجرى هذا الاختبار

[*] The Third R

ربما تكون البدائل النهائية «في السيليكون»: أي نماذج حاسوبية لجمل أعضاء متآثرة من أجل تقفي فعل الأدوية.

لفحص ملوثات بكتيرية مسببة للحمى بوساطة حقن مادة في أرانب وأخذ درجة حرارتها بعد 24 ساعة. استخدم «فاكنر» نظائر مشعة قصيرة العمر جدا تستعمل كوسيلة لتصوير تشخيصي عند الإنسان، وثمة ضرورة لتأكيد خلوها من التوكسينات (الذيفانات) البكتيرية ـ ولكن النظائر المشعة تصبح غير فعالة بمرور الزمن اللازم للاختبار على الأرنب الذي يزودنا بالنتائج. عرف «فاكنر» أن «F. بانك» [في جامعة جون هوپكنز أيضا] أظهر أن الدم اللمفي (الدم بشكل خاص) في سرطان نعل الفرس يتفاعل مع معظم التوكسينات البكتيرية بطريقة قابلة للتنبؤ والقياس. منحت وكالة الغذاء والدواء الأمريكية FDA الإذن سريعا لاستعمال هذا الاختبار على السرطان المسمى Limulu amebocyte lysate، أو LAL للكشف عن البيروجينات.

أكثر حداثة، كشف «A. فيندل» [من جامعة كونستانس Constance بألمانيا] وأحد باحثينا (هارتونگ) عن أنه يمكن التحري عن الذيفانات البكتيرية بخواصها المحرضة لكريات الدم البيضاء في الدم البشري لتحرير البروتينات المسماة السيتوكينات، والتي يقوم بعضها بالإشارة إلى الدماغ لإحداث الحمى. هذا التحري البسيط عن السيتوكينات في الدم البشري يظهر وجود جميع الذيفانات ذات العلاقة، متجاوزا العديد من القيود للاختبار LAL.

لقد تركز إيجاد بدائل معينة للاختبارات (مثل **اختبار درايز** Draize test، المؤلم جدا للأرانب، لأن العين من الأعضاء الحساسة) على السعي للرفق بالحيوان. وقبل عقد من الزمن بدأ بعض العلماء بإنجاز الاختبار على كرات عين طازجة من المسالخ بدلا من التطبيق على الأرانب الحية. وعلى الرغم من تحسين طرائق التخدير، فإن البدائل أزالت الألم أيضا وذلك بالحد من استخدام المزيد من الحيوانات. وفي ألمانيا، غالبا ما يستخدم الغشاء الرقيق الذي يفصل مح البيض عن الأح كبديل عن القرنية في هذه الاختبارات.

في الثمانينات مول مركز جون هوپكنز لأجل البدائل عن الاختبار على الحيوان الذي أداره «گولدبيرگ»، بحثا يتعلق بكيفية تقييم تأثير كيميائيات مختلفة في زراعات نسيجية ثنائية البعد من خلايا القرنية البشرية (حملة مبكرة ضد اختبار درايز لمجموعة الأرانب، قادتها رابطة مواد التجميل ومساحيق الزينة والمعطرات لإيجاد المركز، وهو قسم من مدرسة بلومبيرگ) واعتمادا على جزء من هذه الدراسات، ينتج العديد من الشركات اليوم نسجا ثلاثية الأبعاد تحاكي بدقة السطح الخارجي للعين البشرية ـ سامحة بذلك للمجربين بتحري ليس



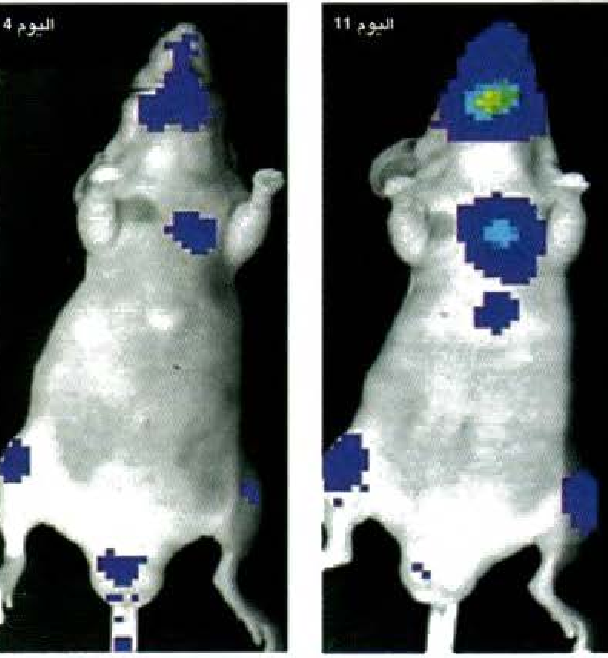
تحرر كريات الدم البيضاء بروتينات تدعى السيتوكينات cytokines بوجود البكتيرات المسببة للحمى. والاختبار البسيط لكشف السيتوكينات في دم المرضى يسمح بالكشف عن مثل هذه البكتيرات «البيروجينية»، مستبدلين الاختبار على الأرنب والبدائل الأقدم.

فقط التهيج ولكن أيضا التغيرات البنيوية الدقيقة.

في الواقع، يمكن للباحثين حاليا القيام باستنبات أنواع كثيرة من الخلايا البشرية من الجلد والرئة والعين والعضلات والأغشية المخاطية وغيرها من الأعضاء. حتى أن الأكثر إثارة إمكان إعادة بنيان النسج ـ تراكيب ثلاثية الأبعاد لخلايا خاصة مستنبتة على جملة داعمة. إضافة إلى العين، فقد جرت زراعة نسج صنعية تحاكي الجلد والرئة والسبيل المعدي المعوي وبطانات الفم والمهبل. لقد تم تبني ذلك في الصناعة بشكل واسع، واستعملت بديلا عن الحيوانات في عدد كبير من الاختبارات (مع ذلك، بقيت الحاجة بشكل عملي إلى مستنبتات ثلاثية الأبعاد لأعضاء مثل الكبد).

من الأهمية بمكان اغتنام الفرصة التي تتيحها الزراعات النسيجية والخلوية للباحثين لفهم الآلية البيولوجية لتأثير المادة الكيميائية، بصورة لم تكن ممكنة قط باستخدام كامل الحيوان. حاليا يمكن للمستقصين إيجاد طريقة **في المختبر (في الزجاج)** in vitro لإطلاق سلسلة من العمليات الكيميائية الحيوية بوساطة المادة الكيميائية. وفي المستقبل، يمكن أن تسمح مثل هذه الدراسات للعلماء بالتنبؤ بالنتائج الوظيفية ـ مثل تبدلات الجينات وتغيرات نمو الخلية، وغيرها ـ الناجمة عن تعرض الخلية في الجسم البشري لمادة كيميائية. والأبعد من ذلك، يمكن أن تحاكي نسج عديدة مستنبتة في حجرة مفردة (جملة طورت أخيرا بوساطة بحث AP في بالتيمور)





الفوتونات الحيوية biophotonics: إن استخدام فوتونات الضوء لكشف التغيرات البيولوجية وقياسها في الحيوانات الحية، يظهر تقدم السرطان في الفأر. يصبح السرطان مرئياً (*المساحات الملونة*) قبل مدة طويلة من أن يتطور في الحيوان ورم قابل للجس (غير مرئي). مثل هذه التقنيات تمكن الباحثين من القيام بفحص التأثيرات التجريبية للأدوية بطرائق رحيمة.

معقد التأثرات كاستحالة مادة كيميائية إلى أخرى بوساطة الفعالية الاستقلابية للعضو، والتي يمكن أن تؤثر بالتالي في أعضاء أخرى هذه التطورات، وإن تكن في مراحل نموها الأولى. لها الفضل في التخلي عن الحيوانات في دراسات **الديناميكية (الحركية) السمية** toxicodynamics: سلسلة الحوادث التي بوساطتها تنتشر المادة الكيميائية وتُستقلب وتُطرح.

ربما لا تكون البدائل النهائية في المختبر كما هي «في السيليكون»: بدأت الصناعة الصيدلانية باستعمال نماذج حاسوبية لجملة أعضاء متأثرة لدراسة مفعول الأدوية. يفتقد كل من <Ch> دي لي زي» [من جامعة بوسطن] وغيره، الدعم لأجل مشروع الإنسان الافتراضي، مغامرة مستقبلية في الحوسبة المنتشرة أو التوزيعية بشكل مشابه لمشروع الجينوم البشري. يمكن للإنسان الافتراضي أن يحاكي في المستقبل الاستجابة البشرية لوطأة الضغوط البيولوجية، والفيزيائية والكيميائية، متجنبين الحاجة إلى دراسات على الحيوانات.

شكوك مقنعة(*)

من ناحية أخرى، يبقى حاليا اكتشاف بدائل جديدة عملية غير محددة. إن عملية إيجاد رؤوس الأموال من أجل الأبحاث المنفّذة بشكل خاص على البدائل هو أمر صعب. على الأقل في الولايات المتحدة الأمريكية فبرنامج علم السموم الوطني، الذي ينسق جميع برامج اختبارات السمية في الحكومة الفدرالية مع المعاهد الوطنية لعلوم الصحة البيئية، يُعدّ ميزانية الحكومة لدعم البدائل. وعلى الرغم من كون الوكالات الحكومية في الولايات المتحدة الأمريكية مهتمة بالعلوم البشرية، فقد أنفقت أقل من 10 ملايين دولار خلال العقد الماضي للمصادقة على البدائل من أجل الاستعمال المنتظم. وفي المقابل، أنفق الاتحاد الأوروبي أكثر من 300 مليون دولار في الفترة نفسها على طرائق بديلة وعلى دراسات المصادقة. وقد استثمر أعضاء حكومات الاتحاد الأوروبي بشكل مستقل الملايين - ألمانيا لوحدها تجاوزت 100 مليون دولار - في البحث عن البدائل (مع ذلك، يتعين على كل من الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد الأوروبي إنفاق عدة ملايين عديدة من الدولارات على الأبحاث التي قد تقود يوما ما إلى البدائل).

يجب أن يتم التحقق من فعالية أي بديل جديد قبل أن تقبل به الوكالات النظامية. وفي الولايات المتحدة الأمريكية شُكّلت لجنة للتنسيق بين الوكالات للمصادقة على الطرائق البديلة وهي Interagency Coordinating Comitee on the Validation of Alternative Methods (ICCVAM) ضمّت مندوبين أو ممثلين عن 15 وكالة. عينت هيئات المستشارين من الخبراء المستقلين لمراجعة الأدبيات المتوافرة، متضمنة البروتوكولات المرسلة بوساطة الشركات، لتقيِّم مصداقية الاختبار. واعتمادا على تفويضهم المنتظم، تقرر كل وكالة عندئذ بشكل مستقل فيما إذا كانت تقبل الاختبار أو لا. منذ البداية في عام 1997، تم تقييم 16 طريقة بديلة، ست منها تم تبنيها بوساطة السلطات النظامية، في حين تكلفت الأخرى إجراء التحسينات اللازمة. وفي الماضي، كان الاختبار المبرهن عليه يتطلب عقدا من الزمن أو أكثر ليصبح قابلا للتبني. ولكن منذ تشكيل

(*) Convincing Sheptics

اللجنة ICCVAM تم اختزال هذا التأخير بشكل كبير.

بداية وفي أوروبا كانت مصادقة البدائل مشابهة في مفهومها وتعقيداتها للتجارب السريرية (الإكلينيكية) وفقط لكون التجارب السريرية شاهدا معتمدا وتحتاج إلى شرح دقيق (صارم) على أن الدواء فعال، يجب على تجارب **المصداقية** validation أن تبرهن على أن الاختبار البديل يؤدي عمله الذي صُمِّم من أجله. لقد اكتسب مفهوم المصداقية العلمية إجماعا عالميا واسعا في ورشة عمل المنظمة OECD بسولنا/ السويد، في عام 1996 واستنادا إلى ما يسمى مبادئ سولنا، اعتمد المركز الأوروبي لمصادقة الطرائق البديلة (المركز ECVAM وكذلك اللجنة ICCVAM) مجموعة دراسات «ما قبل المصادقة» لتقييم فعالية البدائل وتسوية خلافات الخلل في بروتوكولاتها. في أوروبا، إذا نجح الاختبار، عادة ما يوجه المركز ECVAM لاعتماده في العديد من المختبرات في دول مختلفة، كل منها يتناول مجموعة كبيرة من المواد المكودة لاختبار البديل. وغالبا ما تقيم المختبرات في وقت واحد العديد من فعاليات البدائل للاختبار المعطى على الحيوانات. ويحكم كيان مكون من نحو 35 عالما يمثلون دول الاتحاد الأعضاء الـ25 من المفوضية الأوروبية واتحاد الأكاديميين والصناعة ومجموعات الرفق بالحيوان، على نتائج التجارب؛ وتحضر اللجنة ICCVAM كمراقب. وإذا ما بُرْهِن بديل ما على أنه معيار معول عليه للخواص ذات الصلة بهذه المواد وأن نتائجه متماسكة وقابلة للتكرار في المختبرات، تعلن اللجنة رسميا المصادقة عليه.

وفي تجارب المصادقة الأخيرة، على سبيل المثال، احتاجت عشرة مختبرات إلى ثلاث سنوات لدراسة ستة بدائل لاختبار المحميات (البيروجينات)، لتحري قابليتها في إيجاد المواد المسببة للحمى من 190 عينة غير مسوقة. وصلت خمسة اختبارات إلى مرحلة المراجعة، وهي حاليا قيد التحرير للتطبيق. ومنذ بداية تأسيسه في عام 1991، صادق المركز ECVAM تماما على 17 بديلا؛ تسعة بدائل إضافية هي في المرحلة الأخيرة من المراجعة؛ و25 بديلا آخر قيد التجارب أو التحاليل الأخيرة، ويجب على البديل أن يستعمل في أوروبا فور المصادقة عليه وفق القانون، ولكن عمليا فإن تأخير استعماله لعدة سنوات مازال شائعا وعندما يصبح المنظمون الأوروبيون أكثر اعتيادا على الطرائق الجديدة فإنهم سوف يتقبلونها بسرعة أكبر.

في أوائل التسعينات واجهت محاولات البدائل عقبات كبيرة عندما فشلت ست تجارب مصادقة كبيرة لبدائل اختبار عين درايز وكانت الحصيلة مربكة، حيث إن بعض البدائل استُعْمِلت في صناعة المواد التجميلية بدون مشكلات واضحة. وبمراجعة بيانات أخرى، نفهم الآن لماذا تفشل البدائل: تمت مقارنة نتائج البدائل بتلك النتائج الخاصة باختبار درايز نفسه، الذي أعطى العديد من الإيجابيات الخاطئة. يقوم حاليا كل من اللجنة ICCVAM والمركز ECVAM مجتمعين بمراجعة المعلومات المتوافرة عن اختبار درايز وبدائله. يمكن أن تشكل الدراسة أساسا لعبارة المصداقية أو، إذا كان ضروريا، لتجربة مصادقة أخرى لبدائل درايز، وفي هذا الوقت نحن واثقون من تحقيق النجاح.

بعد إخفاق حملة «كور» الانتخابية واشتداد حمية الانتقاد لمشروع الأرانب، أدى الأمر إلى مجازة مناسبة. قيام أعداء الحيوانات المحتملين أو المفترضين بالعمل على إنقاذها. يمكن للبدائل المستنبطة بوساطة العلم، إذا نفذت كاملة، أن تنقص استخدام الحيوانات بشكل كبير. وقد اتفق تقييم كل من الأكاديميات والصناعة، على سبيل المثال، على أنه يمكن للبدائل الموجودة خفض عدد الحيوانات التي يحتاج إليها البرنامج REACH الأوروبي إلى 70%. وينطبق الأمر ذاته على الأرجح على قائمة أفضلية EPA. والأكثر واقعيةً، يمكن للبدائل حفظ الملايين وربما البلايين من الدولارات واختصار السنوات، إذا لم تكن العقود منها، من جداول برامج الاختبارات؛ وبينما يقدم إلينا المزيد من البيانات الدقيقة والوثيقة الصلة بالموضوع يستطيع العلم الجديد عندئذ أن يحمي بصورة أفضل ليس فقط المخلوقات التي وجدت للمساعدة ولكن أيضا البقية منا نحن البشر. ■

المؤلفان

Alan M. Goldberg - Thomas Hartung

*عالمان بالسموم، تأثرا بمعاناة الحيوان ودافعا عن الحاجة إلى البدائل. حصل «گولدبيرك» على الدكتوراه في علم الأدوية من جامعة مينيسوتا، وهو أستاذ علم السموم في جامعة جونز هوپكنز، حيث يدير مركزا للبدائل عن اختبار الحيوان. قام بتأليف سلسلة كتب عن **الطرائق البديلة في علم السموم** Alternative Methods in Toxicology، كما عمل لدى العديد من الحكومات وغيرها من اللجان، ومنح عدة جوائز، آخرها من جمعية علم السموم. ومن جهته، حصل «هارتونگ» على الدكتوراه في الكيمياء الحيوية للدوائيات من جامعة كونستانس بألمانيا وعلى شهادة اختصاص عليا في علم السموم من جامعة توبنگن. وعمل رئيسا تنفيذيا لمركز Steinbeis Technology Transfer Center ويشغل حاليا منصب رئيس المركز الأوروبي للمصادقة على طرائق البدائل. ولـ«گولدبيرك» ترتيبات استشارية مع Xenogen Reduction Corporation في Almeda، California؛ وتم ترخيص بديل «هارتونگ» لمقايسة البيروجينات من قبل مجموعة غير ربحية لمختبرات Charles River Laboratories بمقاطعة ماساتشوستس.*

مراجع للاستزادة

Animals and Alternatives in Testing: History, Science, and Ethics. Joanne Zurlo, Deborah Rudacille and Alan M. Goldberg. Mary Ann Liebert, 1994.

Trends in Animal Research. Madhusree Mukerjee in *Scientific American*, Vol. 276, No. 2, pages 86–93; February 1997.

To 3R Is Humane. Alan M. Goldberg and Paul A. Locke in *Environmental Forum*, pages 19–26; July/August 2004.

Altweb **Alternatives to Animal Testing: http://altweb.jhsph.edu**

European Center for the Validation of Alternative Methods: **http://ecvam.jrc.cec.eu.int/index.htm**

Scientific American, January 2006

المصادر الخفية لألسنة اللهب الشمسية[*]

بدأت الأرصاد الحديثة تكشف النقاب عن مسببات الانفجارات الهائلة في جو الشمس[1].

‹D .G› هودسون›

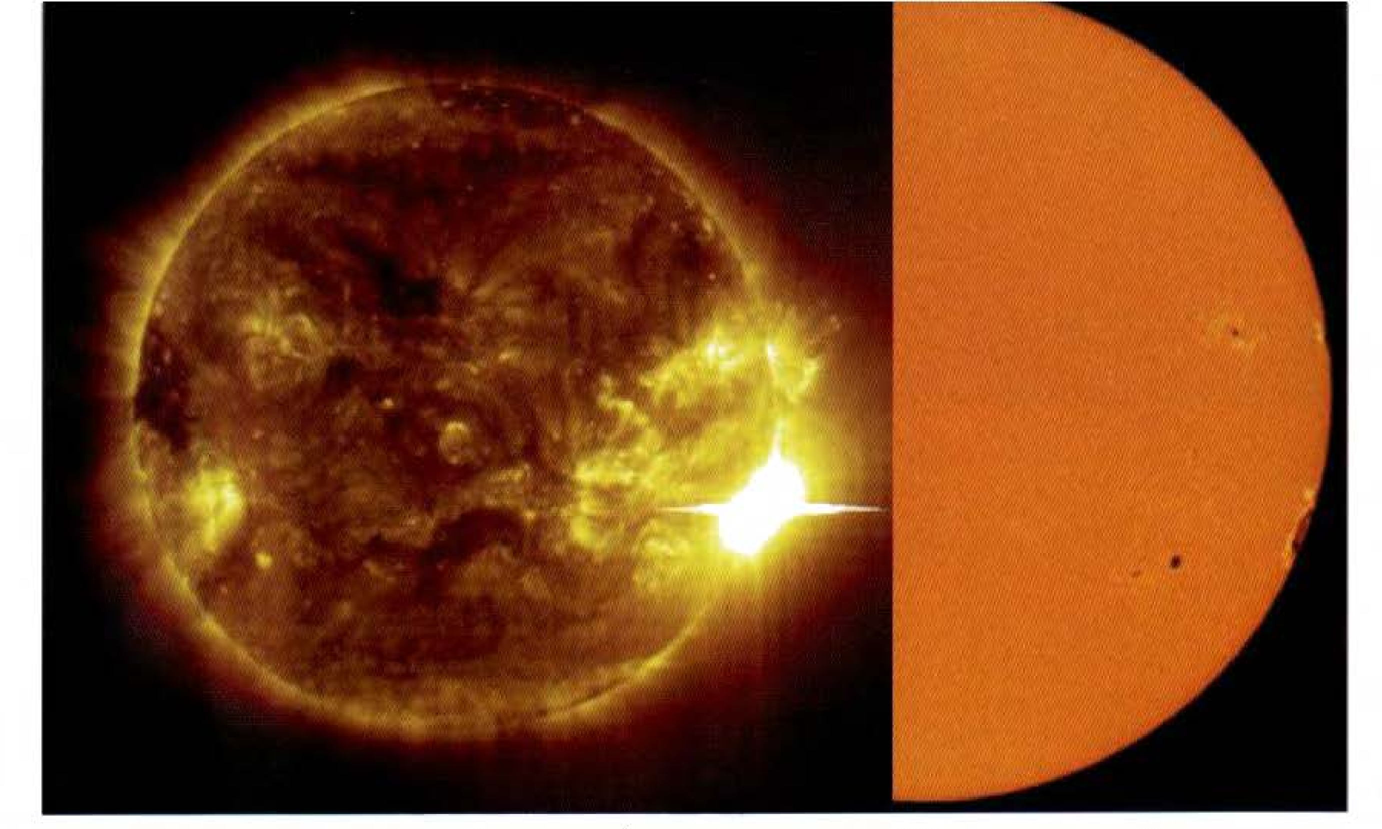
تطلق الانفجارات المفاجئة في الغلاف الجوي للشمس طاقة تعادل بلايين القنابل الذرية في غضون بضع دقائق. الدافع لذلك هو إعادة تشكيل مفاجئ للحقول المغنطيسية للشمس التي تتقوس نحو الأعلى منطلقة من سطح الشمس، والتي يمكن اقتفاء أثرها عن طريق الغاز المتوهج الذي تحويه.

في أواخر الشهر 2003/10 وأوائل الشهر 2003/11 شهد العلماء بعض أكبر ألسنة اللهب الشمسية[2] التي رُصدت على الإطلاق. لقد بدت هذه التدفقات الضخمة للجسيمات المشحونة واضحة من الأرض وبالقرب منها - أي على بعد نحو 150 مليون كيلومتر من المصدر. وعلى سبيل المثال، كان وابلُ الجسيمات الذي وصل إلى الفضاء المجاور للأرض كثيفا، أحيانا، إلى درجة أدت إلى إيقاف مؤقت لكثير من السواتل (الأقمار الصنعية) العلمية وسواتل الاتصالات عن العمل، وأصيب قليل منها بأضرار دائمة. كذلك فقد تعرض رواد الفضاء، على متن المحطة الفضائية الدولية[3] للخطر، واضطروا إلى اللجوء إلى وحدة خدمات المحطة المحصنة جيدا نسبيا. أما قريباً من الأرض، فقد عُدِّلت مسارات الطائرات للابتعاد عن خطوط العرض العالية، حيث يواجه الطيارون في مثل هذه الظروف مشكلات في الاتصالات اللاسلكية، ويتعرض الركاب والملاحون لمستويات عالية مقلقة من الأشعة. هذا وقد روقبت شبكات الكهرباء بعناية تفاديا للأعطال. وعلى الرغم من هذه الجهود، حُرم خمسون ألفا من سكان جنوب السويد من التيار الكهربائي مُدة وجيزة.

ولحسن الحظ، فإن الحقل المغنطيسي والغلاف الجوي للأرض يحميان معظم الناس، حتى من أسوأ العواصف الشمسية. إلا أن الاعتماد المتزايد للمجتمع على التقانة يجعل الجميع تقريبا عُرضة للمخاطر، بدرجة أو بأخرى. [انظر: «عنف *العواصف الفضائية*»، **العلوم**، العددان 3/2 (2002)، ص 60]. وتأتي أكبر الأضرار احتمالا أثناء انطلاق لسان لهب شمسي كبير من المادة المندفعة بسرعة من الغلاف الجوي الخارجي للشمس. وتُعرف هذه المادة في مصطلحات فيزيائيي الفضاء[4] **بالمقذوفات الإكليلية للمادة** coronal mass ejections. تُرسلُ بعضُ هذه الانبثاقات كميات هائلة من الغازات المتأينة في مسار تصادمي مع الأرض، كما حدث في أكثر من واحد من ألسنة اللهب الهائلة التي وقعت عام 2003.

ومع سعي العلماء الطويل إلى فهم مسببات هذه الألسنة من اللهب والمقذوفات الإكليلية للمادة المصاحبة لكثير منها، فإن الأرصاد لم

(*) THE MYSTERIOUS ORIGINS OF SOLAR FLARES
(1) atmosphere: جو أو غلاف جوي
(2) solar flares
(3) International Space Station
(4) space physicists



لسانُ لهب فائق الشدة يثور بالقرب من حافة الشمس في 2003/11/4. لقد غمر وميض أشعته كاشف الإشعاع فوق البنفسجي المتطرف extreme-ultraviolet detector الموجود على متن المرصد Solar and Heliospheric Observatory، مخلفا في الصورة خطا أفقيا زائفا (*في اليسار*). وكما هي الحال في أحداث مماثلة أخرى، فإن بقعة شمسية (موقع حقول مغنطيسية شديدة جدا) كانت موجودة قريبا من هذا الموضع.

تصبح جيدة بالقدر الكافي الذي يمكِّن من كشف تعقيدات هذه الظواهر وتوضيح آليتها الفيزيائية، إلا في العقد الأخير أو قريبا منه. ويرجع الفضل في ذلك إلى التقانات الجديدة التي استُحدثت خلال التسعينات. وقد تبين أن السبب هو حدوث عملية إعادة ترتيب مفاجئة لخطوط الحقل المغنطيسي. وهي ظاهرة تُعرف باسم **إعادة الربط** reconnection.

طقس هادئ ومعتدل بدرجة حرارة مليوني كلفن(*)

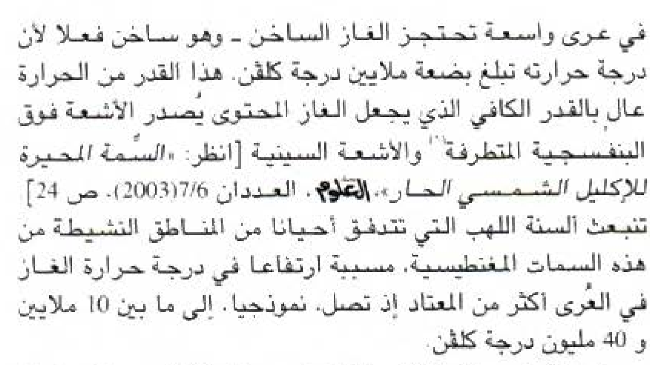
على الرغم من تعقيدات طقس الأرض، فإنه ينتج على الأقل من عمليات مألوفة: التسخين الشمسي والفروق في ضغط الهواء والأنماط المتغيرة للرياح، حتى إن غالبية الناس لديها إدراك حدسي. على سبيل المثال، لسبب كون السماء مشرقة في يوما ما وممطرة في اليوم التالي. وفي المقابل فإن ألسنة اللهب الشمسية ومظاهر أخرى «**لطقس الفضاء**» space weather تتضمن تفاعل كل من الحقول المغنطيسية والغازات الساخنة بدرجة كافية تجعلها في حالة متأينة (أي عندما تُجرد ذرات العناصر من إلكتروناتها). لا يمكن رؤية هذه التفاعلات بطريقة مباشرة، وقد يكون تصورها مخادعا حتى للمتخصصين. وترجع الفكرة الأساسية إلى كيفية إنتاج ألسنة اللهب الشمسية من هذه التغيرات (أي عملية **إعادة الربط المغنطيسي** magnetic reconnection) إلى الخمسينات والستينات من القرن العشرين. إلا أن الدلائل الرّصدية المؤيدة لها كانت بطيئة الورود لدرجة أن بعض فيزيائيي الفضاء بدأت تراودهم الشكوك في جدارة النظرية.

إجمالا، يتفق العلماء على أن الطاقة المحررة أثناء انبثاق لهب شمسي يجب أن تكون مختزنة أولا في الحقل المغنطيسي للشمس. يأتي هذا التكهن من حقيقة أن ألسنة اللهب تثور في أجزاء من الشمس وتسمى بالمناطق النشيطة، حيث الحقل المغنطيسي أقوى بكثير من متوسط شدته. وتُكتشف هذه المناطق بسهولة عن طريق وجود **البقع الشمسية** sunspots ـ وهي تلك البقع المظلمة التي تؤوي أشد الحقول المغنطيسية على الشمس. وفي هذه المناطق تمتد خطوط قوى الحقل المغنطيسي من سطح الشمس إلى الإكليل(1)، وهي الطبقة الخارجية للغلاف الجوي للشمس. وتتقوس إلى الأعلى

نظرة إجمالية/ فيزياء ألسنة اللهب(**)

- **يمكن لألسنة اللهب الشمسية أن تُطلق طاقة تعادل بلايين القنابل الذرية في غضون بضع دقائق. تُصدر هذه الانفجارات دفقات من الأشعة السينية والجسيمات المشحونة، التي قد يصطدم بعضُها لاحقاً بالأرض، معرضا السواتل (الأقمار الصنعية) للخطر، ومسببا انقطاعات في التيار الكهربائي.**
- **تزود الحقول المغنطيسية المضطربة للشمس ألسنة اللهب: الوقود اللازم. وينتج الانطلاق المفاجئ للطاقة في لسان للهب من عملية يُطلق عليها اسم** إعادة الربط **reconnection، حيث تتحد خطوط الحقول المغنطيسية ذات الاتجاهات المتعاكسة ويُفني بعضها بعضا جزئيا.**
- **مع أن الدراسات النظرية لإعادة الربط المغنطيسي في الشمس أُجريت منذ عقود، فإن الأدلة الرصدية على هذه الظاهرة لم تتكشف إلا حديثا بوساطة مسابير الفضاء. وتتضمن السمات المميزة للظاهرة عرى مغنطيسية واضحة تقع أسفل البقعة التي تحدث فيها إعادة الربط المغنطيسي.**

(*) Fair and Mild: Highs of Two Million
(**) Overview / Physics of Flares
(1) corona



في عرى واسعة تحتجز الغاز الساخن ـ وهو ساخن فعلا لأن درجة حرارته تبلغ بضعة ملايين درجة كلفن. هذا القدر من الحرارة عالٍ بالقدر الكافي الذي يجعل الغاز المحتوى يُصدر الأشعة فوق البنفسجية المتطرفة[1] والأشعة السينية [انظر: «*السِّمة المحيرة للإكليل الشمسي الحار*»، **العلوم**، العددان 7/6(2003)، ص 24] تنبعث ألسنة اللهب التي تتدفق أحيانا من المناطق النشيطة من هذه السمات المغنطيسية، مسببة ارتفاعا في درجة حرارة الغاز في العُرى أكثر من المعتاد إذ تصل، نموذجيا، إلى ما بين 10 ملايين و 40 مليون درجة كلفن.

أما خارج إطار الارتباط العام بين ألسنة اللهب والحقول المغنطيسية القوية، فقد بقيت صورة تفاصيل جريان الأمور مشوشة مدة طويلة. وعلى سبيل المثال، لم يتضح للفلكيين، إلا تدريجيا، أن عُرى الحقل المغنطيسي والغاز الساخن المتعلقة بألسنة اللهب تختلف إلى حد بعيد عن بُنى شديدة الشبه بها موجودة في أمكنة أخرى داخل المناطق النشيطة. جاءت المؤشرات الأولى لهذا الاختلاف قبل 14 عاما تقريبا عن طريق قياسات أُجريت بوساطة الساتل الياباني يوهكو Yohkoh، الذي كان أول مسبار فضائي يلتقط صورا لألسنة اللهب الشمسية في أطوال موجية تمتد إلى الطاقات العالية المعتدلة للأشعة السينية (وهذا أفاد في تحديد مواقع الغاز الشديد الحرارة)، أظهرت قمم الحلقات المغنطيسية لبعض هذه الأحداث طرفا مستدقا[2] لافتا للنظر أشبه بقوس قُوطي الطراز[3] منه بقمة دائرية عادية.

وأثناء تفحص صور الساتل يوهكو، اكتشف <S. ماسودا> [الذي كان حينذاك طالب دراسات عليا بجامعة طوكيو] أن منطقة الطرف المستدق للسان لهب حدث عام 1992 أصدرت كميات كبيرة غير اعتيادية من الأشعة السينية ذات الطاقة العالية نسبيا (والطول الموجي القصير). خلَص <ماسودا> إلى أن مصدر هذه الأشعة جيب من الغاز الساخن جدا (نحو 100 مليون كلفن) الذي من المتوقع أن يتوهج بتألق بأطوال موجية قصيرة من الأشعة السينية. وبصورة بديلة، يُمكن لشيء ما تسريع الإلكترونات في هذه المنطقة لتبلغ سرعات فائقة جدا وهذا يؤدي إلى إصدارها أشعة سينية عندما تعترضها أيونات الغاز المحيط بها، مبطئة حركتها فجأة.

إن أيا من هذين الاحتمالين شيء مربك! فإذا كان الغاز حارقا لهذه الدرجة، فكيف أمكن احتجازه في بقعة صغيرة كهذه؟ وإذا جاءت الأشعة السينية من الإلكترونات المسرَّعة المصطدمة بالأيونات، فلماذا جاءت الأشعة من مصدر متراص بالقرب من أعلى الحلقة، وليس من أسفلها، حيث كثافة الغاز أعلى ما يمكن؟

لحل هذه الألغاز طلب فيزيائيو الفضاء قياسات تُمكن من التمييز بين تأثيرات الغاز الساخن والإلكترونات المسرَّعة. ولفهم زمان ومكان حدوث الأنشطة الوثيقة الصلة بهذه التأثيرات، احتاجوا إلى صور متكررة للأشعة الشمسية في نطاق الطاقة الكامل للأشعة السينية وأشعة كاما. وقد أعاق عدم توافر هذه المعلومات الباحثين طوال معظم العقد التالي. لكن في عام 2002، أطلقت الوكالة ناسا **مصور راماتي الطيفي للطاقة الشمسية العالية** Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI) الذي التقط مشاهد تفصيلية لمنطقة الطرف المستدق في ألسنة لهب شمسية معينة، وبتنفيذ ذلك، قدم الصور RHESSI دليلا مقنعا مؤكدا مسؤولية عملية إعادة الربط المغنطيسي عن كل من ألسنة اللهب والمقذوفات الإكليلية.



مشهد ساطع لظاهرة الشفق Auroral الذي أضاء سماء ألاسكا أثناء الليل خلال الشهر 2003/10 نتيجة النشاط المتزايد للشمس. يمكن لسيل الجسيمات المشحونة الصادرة عن الشمس أن يولد هذه الظاهرة عندما تصل الجسيمات إلى الأرض وتصطدم بالطبقات العليا للغلاف الجوي. وتغادر هذه الجسيماتُ ذات الطاقة العالية الشمس خلال حركتها عبر خطوط قوى الحقل المغنطيسي للشمس.

تجاوز الحدود[*]

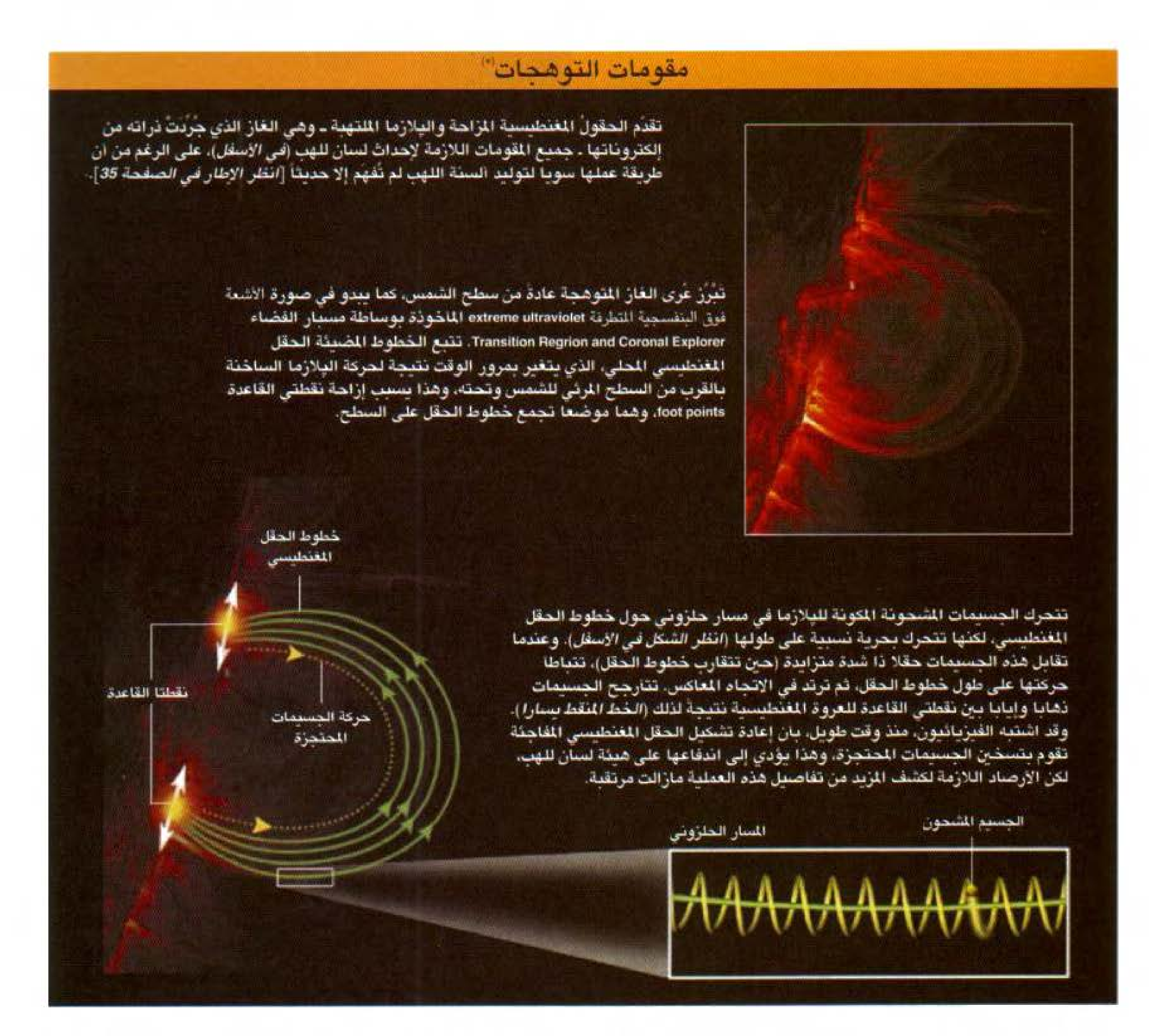
إن تتبع ما يحدث خلال أحداث إعادة الربط المغنطيسي على وجه الدقة، يتطلب أولا فهما عاما لكيفية احتجاز العرى المغنطيسية غير المرئية للغاز الساخن في الغلاف الجوي للشمس. ومن المفضل أن يُسمى هذا الغاز بالبلازما، نظرا إلى تكوّنه في الأغلب من الإلكترونات والبروتونات المنفصل بعضها عن بعض. وهذا يعني توصيله للكهرباء، لذا يستطيع الحقل الكهربائي أن يدفع هذه الجسيمات بمحاذاته مولدا تيارات كهربائية. وبالمثل، فإن الحقل المغنطيسي يؤثر في هذه الجسيمات المشحونة بقوى تدفعها للتحرك بحركة دورانية حول خطوط الحقل المغنطيسي.

وعلى الرغم من تقييد حركة الإلكترونات والبروتونات في مسارات دائرية حول خطوط الحقل المغنطيسي وفق هذا النمط، فإن باستطاعتها الحركة بحرية نسبيا على طول هذه الخطوط. وإنني أقول «نسبيا» بسبب تعرض الجسيمات المشحونة لقوة إعاقة إذا تحركت على طول خطوط حقل مغنطيسي متقاربة. فعلى سبيل المثال، تتباطأ حركة الجسيم المشحون أثناء هبوطه من أعلى العروة المغنطيسية إلى أسفلها مقتربا من إحدى النقطتين اللتين تسميان **نقطتي القاعدة** foot points للعروة، حيث تتقارب خطوط الحقل ويصبح الحقل المغنطيسي أكثر شدة. وفي نهاية المطاف تُوقف شدة الحقل المتزايدة حركة الإلكترون أو البروتون، ثم تدفعه مرة أخرى إلى الأعلى. تشبه هذه العملية إلقاء كرة على فرشة. وخلافا للكرة، التي تعطي مؤقتا طاقة حركتها لضغط نوابض الفرشة، فإن الجسيمات المشحونة في الشمس لا تنقل الطاقة إلى الحقل المغنطيسي، بل تتحول طاقة هبوطها نحو الأسفل إلى زيادة في تردد حركتها الدائرية حول خطوط الحقل المغنطيسي. بهذه الطريقة، تعمل نقطتا القاعدة للحلقة المغنطيسية كمرآة تعكس البروتونات والإلكترونات ذهابا وإيابا فيما يُعد بوجه أساسي، شَرَكًا كبيرا للجسيمات المشحونة.

ومن المثير للدهشة، أنه يمكن للبلازما نفسها أن تؤثر في خطوط الحقل المغنطيسي التي تملكها. وما يُمكّنها من ذلك، هو أنها نظرا إلى كونها بحرا من الجسيمات المشحونة، فبمقدورها أن تحتوي على تيارات كهربائية تنشأ كلما وُجد فرق في القُطبية لدفعها في الدارات

(*) Crossing the Lines
(1) Extreme Ultraviolet Radiation
(2) cusp
(3) Gothic arch

مقومات التوهجات(*)



تقدّم الحقولُ المغنطيسية المزاحة والبلازما الملتهبة ـ وهي الغاز الذي جُرِّدَتْ ذراته من إلكتروناتها ـ جميع المقومات اللازمة لإحداث لسان للهب (في الأسفل)، على الرغم من أن طريقة عملها سويا لتوليد ألسنة اللهب لم تُفهم إلا حديثا [انظر الإطار في الصفحة 35].

تَبْرُزُ عُرى الغاز المتوهجة عادةً من سطح الشمس، كما يبدو في صورة الأشعة فوق البنفسجية المتطرفة extreme ultraviolet المأخوذة بوساطة مسبار الفضاء Transition Regrion and Coronal Explorer. تتبع الخطوط المضيئة الحقل المغنطيسي المحلي، الذي يتغير بمرور الوقت نتيجة لحركة البلازما الساخنة بالقرب من السطح المرئي للشمس وتحته، وهذا يسبب إزاحة نقطتي القاعدة foot points، وهما موضعا تجمع خطوط الحقل على السطح.

تتحرك الجسيمات المشحونة المكونة للبلازما في مسار حلزوني حول خطوط الحقل المغنطيسي، لكنها تتحرك بحرية نسبية على طولها (انظر الشكل في الأسفل). وعندما تقابل هذه الجسيمات حقلا ذا شدة متزايدة (حين تتقارب خطوط الحقل)، تتباطأ حركتها على طول خطوط الحقل، ثم ترتد في الاتجاه المعاكس. تتارجح الجسيمات ذهابا وإيابا بين نقطتي القاعدة للعروة المغنطيسية نتيجةً لذلك (الخط المنقط يسارا). وقد اشتبه الفيزيائيون، منذ وقت طويل، بأن إعادة تشكيل الحقل المغنطيسي المفاجئة تقوم بتسخين الجسيمات المحتجزة، وهذا يؤدي إلى اندفاعها على هيئة لسان للهب، لكن الأرصاد اللازمة لكشف المزيد من تفاصيل هذه العملية مازالت مرتقبة.

الكهربائية المألوفة ـ مثل تلك الموجودة في مصباح البطارية ـ تقوم البطارية بتوفير الفُلطية (الجهد) الدافعة ولا يوجد شيء مثل البطارية على سطح الشمس. إلا أن الحقل المغنطيسي المتغير يستحث فروقا في الفُلطية (طبقا لنفس المبادئ الفيزيائية التي يعمل وفقها المولد الكهربائي)، وبذلك تنشأ تيارات كهربائية. وما يجعل الأمور أكثر تعقيدا، هو أن هذه التيارات تولِّد حقولا مغنطيسية جديدة ويُنتج هذا التأثير، متحدا مع ميل نقاط قاعدة الحلقات المغنطيسية للحركة على غير هدى، تشكيلات رائعة دائمة التغير من الحقول المغنطيسية الشديدة التشوه في الغلاف الجوي للشمس، حاملة قدرا كبيرا من الطاقة المغنطيسية ـ التي هي وقود ألسنة اللهب الشمسية.

ولا يصف هذا الجزء من القصة إلا بعض الفيزياء الأساسية الفاعلة التي فهمها العلماء لعقود عديدة. وتنشأ المشكلة إذا حاولنا أن نشرح بدقة كيفية تحول جميع هذه الطاقة المغنطيسية إلى حرارة وجسيمات مُعجلة (مُسرَّعة) ومادة مقذوفة. ويأتي أحد الاحتمالات ببساطة من اعتبار أي دارة كهربائية بأنها لا تميز بالتيار المار خلالها والفُلطية الدافعة لتدفق الشحنة فحسب، بل أيضا بالمقاومة الكهربائية الكامنة فيها على سبيل المثال. تقوم أسلاك المصباح الكهربائي بمقاومة التيار الساري خلالها مبددة بذلك الطاقة الكهربائية عن طريق تحويلها إلى ضوء وحرارة كذلك. يوفر الغلاف الجوي للشمس مقاومة كهربائية لأن الجسيمات المشحونة المكونة للتيارات الكهربائية تصطدم أحيانا بعضها ببعض. وهذا يعيق سريان الشحنات ويرفع درجة حرارة الوسط. ثم إن للفلطية الدافعة للتيار حقلا كهربائيا مصاحبا له. وإذا كان هذا الحقل قويا بالدرجة الكافية، فسوف تُسرِّعُ الإلكترونات والأيونات إلى خارج البلازما الساخنة. من هنا تأتي الحرارة والجسيمات ذات الطاقة العالية، وهي العناصر الأساسية لألسنة اللهب.

لا يصمد جيدا هذا التفسير الأنيق إذا أمعنا النظر فيه. ويرجع أحد أسباب ذلك إلى أن المقاومة الكهربائية لإكليل الشمس ضئيلة جدا بدرجة لا تمكنها من تفسير المعدلات العالية لشدة سطوع ألسنة اللهب الشمسية. وحتى إذا كانت المقاومة أعلى من ذلك، فإن كيفية تركيز القدر المطلوب من الطاقة المغنطيسية في مكان واحد، وتحريرها في بَثْقة مفاجئة، لا تزال صعبة التفسير. وقد خلص الباحثون، قبل عقود،

(*) Flare Fodder



تُظهر الحلقات التي تعقب السنة اللهب طرفا مستدقا مميزا في قممها. وتعكس هذه الهندسة للغاز المتوهج اضطرابا في الحقل المغنطيسي المحلي. ويمكن لهذا الاضطراب أن يُحْدث إعادة الربط المغنطيسي المطلوب لتزويد السنة اللهب بالطاقة، وفي بعض الأحيان تبقى آثاره مستمرة عدة أيام تالية.

إلى أن توليد قلطية دافعة لتيار وحيد بسيط، لا يمكن أن يرفع درجة حرارة الغلاف الجوي للشمس بالسرعة الكافية، أو يولد دفقا من الجسيمات المسرَّعة كافيا لإحداث لسان من اللهب.

وعلى مر السنين، كان فيزيائيو الفضاء يقدمون أفكارا متنوعة أكثر تعقيدا: فربما تنتج السنة اللهب من تيارات عديدة مختلفة تتحد معا، أو من حيز يحوي موجات من البلازما المضطربة والحقول الكهربائية العشوائية المصاحبة لها. ويُمكن لهذه الترتيبات الخاصة أن تُحدث لسانا من اللهب، لكن لا تستطيع هذه الآليات أن تفسر جميع الأرصاد، وخصوصا ميل القذوفات الإكليلية للمادة إلى أن تكون مصحوبة بألسنة لهب كبيرة. وهناك نظرية يُنتظر لها مستقبل مرموق، وهي لا تتضمن دينامية الحقل الكهربائي فحسب، بل أيضا نظيره المغنطيسي، لذا دعوني أصف فيزياء كل من هذه الحقلين بتفصيل أكبر.

إن لدى الحقول المغنطيسية اتجاها مصاحبا لها، فعلى سبيل المثال، تتجه خطوط القوى حول قضيب من المغنطيس من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي. وإذا أُحضر حقلان مغنطيسيان متوازيان، لكن متعاكسان في الاتجاه، إلى البلازما فسوف ينشأ تيار كهربائي بينهما متخذا شكل صفيحة مستوية. (اعتاد معظم الناس على الاعتقاد بأن التيار الكهربائي يسري في بُعد واحد - على طول سلك كهربائي، مثلا - لكن في الشمس، حيث الغلاف الجوي بأكمله موصل للكهرباء، لا يوجد ما يمنع سريان التيار الكهربائي في مستويات ذات بعدين). وبمرور الزمن، يتناقص قدر الطاقة المغنطيسية الذي يحتويه الحقلان المغنطيسيان، وذلك مع قيام المقاومة بتبديد التيار الكهربائي الساري في الصفيحة.

في عام 1956، أدرك الباحث الراحل ‹A. P. سويت› [الذي كان يعمل حينذاك في مرصد جامعة لندن] أن طاقة الحقل المغنطيسي تتراجع بطريقة أسرع إذا انفصلت خطوط الحقلين المتعاكسين بالاتجاه، ثم التحمت، أو أعيد ارتباطها، مرة أخرى في صفيحة التيار الكهربائي الذي تكوّن بينهما. ويترتب على ذلك إلغاء الحقلين المتقابلين كل منهما الآخر في بثقة من الطاقة، وهذا يشبه تقريبا فناء المادة والمادة المضادة[1]. عندئذ يمكن للحقلين المغنطيسيين المتجاورين والبلازما المطمورة فيهما أن يسريا في الصفيحة في كلا الاتجاهين. وفي فيزياء هذه الظاهرة يجري لفظ كل من الحقول المغنطيسية الجديدة، التي نشأت عن التحام خطوط القوى، التي كانت منفصلة سابقا، والبلازما إلى أطراف المستوى. وفي أواخر الخمسينات وأوائل الستينات من القرن السابق قدّم ‹E. N. پاركر› [من جامعة شيكاگو] نموذجا رياضياتيا يصف هذه العملية التي يُطلَق عليها الآن اسم **إعادة الربط المغنطيسي لـ ‹سويت- پاركر›** Sweet-Parker magnetic reconnection.

لا تستطيع عملية إعادة الربط هذه أن تقدم التفسير الكامل لما يحدث أثناء السنة اللهب الشمسي، نظرا إلى أن إعادة ترتيب خطوط الحقل المغنطيسي تحدث ببطء شديد لا يسمح لها بتفسير معدلات الطاقة العالية المحرَّرة. وفي عام 1963، بعد أن أدرك هذا القصور للنموذج الجديد، الباحث الراحل ‹H. E. بيتشيك› [من معمل أبحاث Avco-Everett بولاية ماساتشوتس] حوّل اهتمامه إلى هذه المشكلة، وتوصّل إلى أنه تحت شروط معينة، فإن عملية إعادة الربط تحدث بسرعة أعلى بكثير من المعدل الذي تقدمه عملية سويت-پاركر. وتُعرف هذه الظاهرة الآن باسم إعادة ربط بيتشيك أو إعادة الربط السريع[2]، وهذا يخالف الظاهرة التي وصفها ‹سويت› و‹پاركر›، والتي يطلق عليها إعادة الربط البطيء.

المشاهدة خير دليل[*]

في كلٍ من إعادة الربط السريع والبطيء، يكون سُمك صفيحة التيار الكهربائي ضئيلا جدا إذ إنه لا يتجاوز بضعة أمتار، وهذا أقل مما يلزم للجيل الحالي من أجهزة القياس عند رصد الشمس. ومع ذلك، تُولِّد كلٌّ من العمليتين ظاهرةً مهمة يمكن رصدها، وهي تكوّن حقول مغنطيسية في مناطق متمايزة. فهل أظهرتْ صُوَر مسابير الفضاء الحديثة هذه السمات المميزة؟

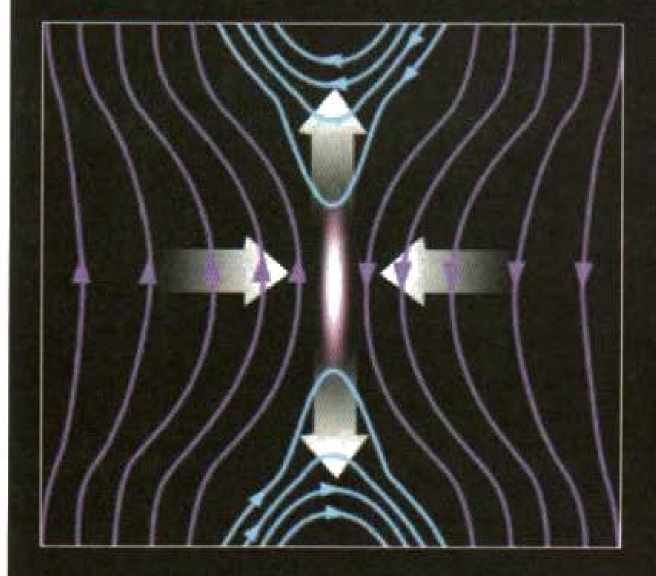
على الرغم من أن إعادة الربط قد تكون كلّيّة الوجود في الشمس، فإن إيجاد دليل مباشر على وجودها ليس بالأمر الهيّن. وقد قدّمت بعثة RHESSI مساعدة كبيرة في هذا المجال، ففي عام 2003، قامت ‹L. سوي› [التي كانت حينذاك طالبة دراسات عليا في الجامعة الكاثوليكية الأمريكية وتعمل معي في مركز گودارد للطيران الفضائي التابع للوكالة ناسا[3]]، بتحليل أرصاد الصور RHESSI للسان لهب متوسط الشدة حدث في 2002/4/15. كان لهذا الحدث أهمية خاصة، لأنه أصدر مقذوفا إكليليا للمادة بزاوية مكّنت من مشاهدته بسهولة، إضافة إلى ذلك، كان لسان اللهب على هيئة عروة بسيطة، لذا بدا إلى حد بعيد عاديا جدا. ومع ذلك لاحظت ‹سوي› وجود **مصدر متراص** compact source للأشعة السينية الضعيفة يُحلّق فوق العروة المغنطيسية، ويبدو غير متصل بها. كان ذلك مثيرا للفضول. لكنْ للتوثق من حقيقة وجود هذا المصدر المنفصل، قمنا بالحصول على سلسلة من الصور من بداية لسان اللهب إلى نهايته في تسلسل زمني استغرق زهاء 10 دقائق.

لقد كان حقيقيا فعلا. ظهر المصدر الغامض للأشعة السينية في البداية عند قمة العروة. وعندما بدأ لسان اللهب بإصدار الأشعة السينية ذات الطاقة العالية، تحركت قمة العروة إلى الأسفل في حين ظل المصدر ثابتا. وعندما بلغ لسان اللهب ذروته، حين بلغت الأشعة السينية ذات الطاقة العالية أقصى معدلاتها، تغير فجأة اتجاه حركة العروة إلى الأعلى. وبدأ المصدر الغامض للأشعة السينية بالتحرك إلى الأعلى أيضا، لكنه كان أسرع بكثير. وخلال دقيقتين خَفَتَ مصدرُ الأشعة السينية هذا ثم اختفى. لَمْ يَرَ أحدٌ حدثا مثل هذا من قبل. لقد انطلق مصدر الأشعة السينية، الذي بدا ساكنا في البداية، مبتعدا عن

(*) Seeing is Believing
(1) matter-antimatter annihilation
(2) Petschek or fast reconnection
(3) NASA Goddard Space Flight Center

إحداث عمليات الربط(*)

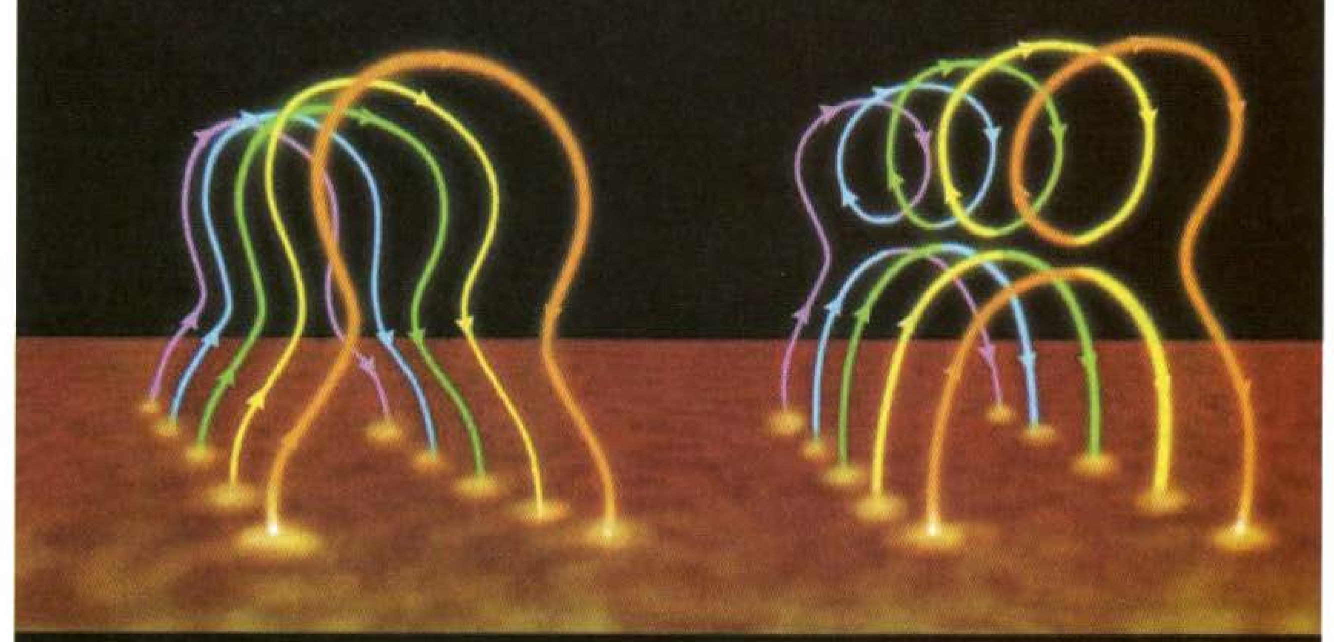
إن مصدر طاقة ألسنة اللهب الشمسية هو ظاهرة تسمى إعادة الربط المغنطيسي، تنضمّ فيها خطوط الحقل المغنطيسي للشمس بعضها إلى بعض، ثم تعيد تشكيل نفسها بسرعة. وتستمد أحداث إعادة الطاقة من الحقل المغنطيسي، مستخدمة إياه في تسخين الغلاف الجوي للشمس محلياً، وتسريع الجسيمات المشحونة لبلوغ سرعات عالية.



إعادة تشكيل الحقل

تحدث إعادة الربط المغنطيسي، عموما، عندما تتقارب سويا خطوط الحقل المغنطيسي المتعاكسة بالاتجاه في *الشكل الموضح في اليسار*، تتحرك خطوط الحقل المغنطيسي المتجهة إلى الأعلى والأسفل نحو المركز. تتكون عندئذ صفيحة عمودية من التيار الكهربائي (اللون القرنفلي، الذي يُرى هنا من حافته). تندمج خطوط الحقل المغنطيسي المتقابلة داخل هذه الصفيحة للتيار مفنية بعضها بعضا جزئيا، ومطلقة الطاقة المغنطيسية التي تحتويها. عندئذ تنشأ خطوط حقل جديدة (اللون الأزرق) أعلى وأسفل صفيحة التيار، وتتحرك بسرعة متباعدة عن موقع إعادة الربط.

يمكن لعمليات إعادة الربط في الشمس أن تصبح أكثر تعقيداً (في الأسفل). وفي بعض الأحيان، تُعيد هذه العلميات تشكيل سلسلة خطوط الحقل المغنطيسي المتقوسة بعضها خلف بعض، فيما يُعرف بالقناطر الشمسية solar arcades. وعلى سبيل المثال، يمكن لمجموعة من تلك الخطوط أن تنضغط نحو الداخل في آن واحد (*في الأسفل يسارا*). وإذا استمرت هذه العملية، يمكن أن تؤدي إلى إعادة ربط جماعي، مصدرة لسان لهب شمسيا، وتاركة حقلاً مغنطيسيا لولبيا فوق قنطرة منخفضة من العُرى في الأسفل (*في الأسفل يمينا*). تُظهر نقاط التقاء الألوان المختلفة مواضع حدوث إعادة الربط). وقد يتمدد الحقل اللولبي والمادة التي بداخله نحو الخارج، مكوِّنين مقذوفاً إكليلياً للمادة.

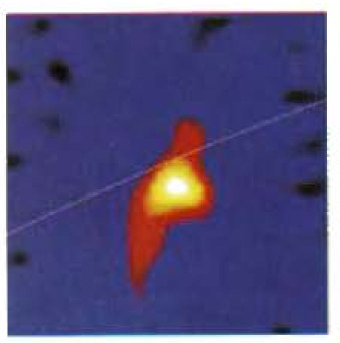
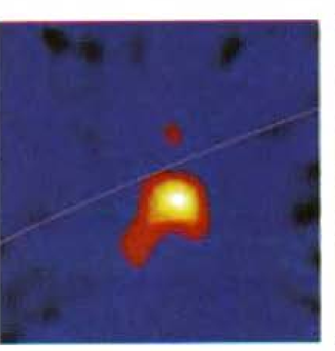
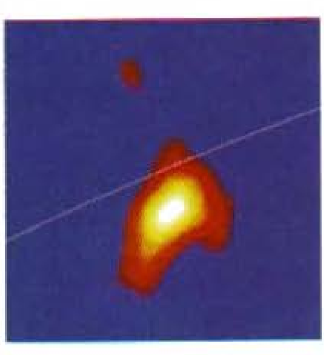




دليلٌ متريِّث

تترك أحداث إعادة الربط، عادة، آثاراً تدل عليها. تُظهر الصورة *في اليمين*، المأخوذة بوساطة مسبار الفضاء TRACE في الشهر 2000/9 شبكة متداخلة من العرى التي كانت واضحة بعد مرور ساعتين على حدوث لسان لهب شمسي في ذلك الموضع. وعلى الرغم من أن هيئة الحقل المغنطيسي قبل التوهج غير معروفة، فإن ظهور العرى بالشكل المختلط في هذه الصورة يوحي بأن ثمة عملية إعادة ربط مغنطيسي كبيرة حدثت. يمكن أن تكون قد تركت جزءاً من الحقل المغنطيسي منفصلاً بوضوح عن سطح الشمس.

(*) Making Connections

لقطات من الأشعة السينية، أخذت بوساطة بعثة RHESSI تصوّر لسان اللهب الذي حدث في 2002/4/15، والذي كان مصحوبا بمقذوفات إكليلية للمادة. يظهر خلال لسان اللهب مصدر للأشعة على شكل انتفاخ أحمر فوق العروة الرئيسية للغاز الساخن (في *اليسار*) وفوق الحافة المرئية للشمس (*الخط الأبيض*). ظل هذا المصدر ساكنا بضع دقائق، في حين هبطت قمة العروة (في *الوسط*)، لكنه انطلق بسرعة في الفضاء فيما بعد (في *اليمين*). يدعم هذا التسلسل فكرة أن إعادة الربط في أعلى العرى المغنطيسية تفسر ألسنة اللهب والمقذوفات الإكليلية للمادة، لكون هذا النسق متفقاً تماماً مع ما نتوقعه إذا ما عاد ربط الحقل المغنطيسي أعلى الحلقة، حيث يسمح لنصف خطوط الحقل الجديدة أن تزاح إلى الأسفل، في حين يتسارع النصف الآخر إلى الأعلى مزوداً المقذوفات الإكليلية للمادة بالطاقة.

الشمس بسرعة 300 كيلومتر في الثانية، وهي نفس سرعة المقذوف الإكليلي للمادة الذي صاحب لسان اللهب هذا؛ واشتبهتُ مع «سو» بأننا اكتشفنا أخيرا المصدر الغامض لهذا التحرر الانفجاري للمادة. والأفضل من ذلك هو أن قياسات درجات الحرارة أشارت إلى المصدر الذي أتت منه الطاقة، والذي تبيّن أنه واقع بين ذروة العروة المغنطيسية ومصدر الأشعة السينية المثير للفضول.

واتفق هذا النسق مع ما نتوقع أن نراه إذا أعيد ربط الحقل المغنطيسي أعلى العروة في صفحة موجهة عموديا من التيار الكهربائي. ومن المحتمل أن يكون كلٌّ من الحقل المغنطيسي للإكليل والبلازما قد تدفّق في صفيحة التيار باتجاه أفقي من كلا الجانبين. وهناك أعيد ربط الحقول المغنطيسية المتعاكسة بالاتجاه، وأزيح نصف خطوط الحقل الجديد بسرعة إلى الأسفل حيث تراصت على العرى المغنطيسية الموجودة سلفا. وقد تسارع نحو الأعلى النصف الآخر من خطوط الحقل المغنطيسي الذي أعيد ربطهُ مولّدا عروة مغنطيسية كبيرة ملتوية، انفصلت أجزاء منها عن الشمس. وفي بعض ألسنة اللهب الشمسية على الأقل، لابد لهذه العُرى المغنطيسية الملتوية من أن تصبح مقذوفات إكليلية للمادة. وتقدم إعادة الربط المغنطيسي وسيلة للجزء المركزي من الحلقة (ولفقاعة البلازما الموجودة فيها) للهروب من الشمس - كما تنقطع فجأة الحبالُ المقيّدةُ لبالون.

وساعد أيضا هذا التصور، الذي نتج من دراستنا لهذا الحدث الذي جرى عام 2002، على شرح أرصاد الساتل يوهكو السابقة. فالطرف المستدق، الذي شوهد أعلى عُرى ألسنة اللهب عام 1992، لابد أنه كان موجودا تحت صفيحة غير مرئية من التيار الكهربائي، حيث تتكون خطوط الحقل المغنطيسي التي أُعيد ربطها حديثا، وتتداعى باستمرار على الحقل الواقع أسفلها. كان البريق المتألق للطرف المستوي يحدث بأطوال الأشعة السينية نتيجة للحقن المستمر للبلازما الساخنة والإلكترونات المسرَّعة من صفيحة التيار الكهربائي الواقعة أعلاه، وربما نتيجة لعملية التسخين وتسريع الإلكترونات في العقد ذاته.

يبدو أن لدينا الآن تفسيرا لكيفية حدوث بعض ألسنة اللهب الشمسية والمقذوفات الإكليلية للمادة على الأقل. لكن مازال هناك العديد من الأسئلة دون إجابة. وعلى سبيل المثال، ما سبب تسريع الجسيمات في ألسنة اللهب؟ وما الذي يؤدي إلى حدوث إعادة الربط المغنطيسي المفاجئ؟ يأمل فيزيائيو الفضاء، إيجاد أجوبة لهذه الأسئلة بسرعة في سياق دراستنا المستمرة لألسنة اللهب باستخدام المصور RHESSI ومراصد شمسية أخرى، بما فيها مسبارا الفضاء Solar B وSTEREO، اللذان سيُطلقان قريبا. وسوف تقوم بعثة Solar B بإعداد خريطة عالية الدقة للحقول المغنطيسية للشمس، كما ستقوم بعثة STEREO (اختصارا لـ Solar TErrestrial RElations Observatory) بوضع سفينتين فضائيتين في موقعين يُمكّنان من التقاط صور ثلاثية الأبعاد للشمس

ويأمل الباحثون أن تقدم هذه المناظر حلا لألغاز هندسة المقذوفات الإكليلية للمادة عند مغادرتها للشمس ومرورها **عبر الفضاء الكوكبي** interplanetary space.

إن مقدرة العلماء على توقع الطقس العنيف للفضاء سوف تتحسن بلا شك في الأعوام المقبلة - وسوف تأتي التحسينات من كلٍّ من فهم أفضل لآليات دفع ألسنة اللهب الشمسية والأدوات المتاحة، التي تتطور باستمرار، والتي تُستعمل لمراقبة الفضاء حول الشمس والأرض. لذا يتوقع الباحثون المعنيّون بدراسة عواصف الفضاء، أن يُحل سريعا كثيرٌ من الألغاز المتبقية. إننا نتطلع إلى الوقت الذي تصبح فيه التنبؤات بطقس الفضاء نشاطا عاديا مماثلا للتنبؤات التي يزودونا بها، روتينيا، خبراء إصدار طقس الأرض. ■

المؤلف

Gordon D. Holman

يجري أبحاثه في مختبر الشمس وفيزياء الفضاء بمركز كودارد لطيران الفضاء التابع للوكالة ناسا، وهو باحث مشارك في بعثة RHESSI. حصل «هولمان» على الدكتوراه في الفيزياء الفلكية من جامعة نورث كارولاينا في تشابل هيل، وتتركّز أبحاثه على تطبيق ***فيزياء البلازما*** *plasma physics لشرح الأرصاد الفلكية. ويعمل أيضا مع زملائه في الوكالة ناسا على تبسيط فيزياء الشمس للهواة من خلال موقع الوكالة على الوب*

مراجع للاستزادة

Magnetic Reconnection. Eric Priest and Terry Forbes. Cambridge University Press, 2000.

Evidence for Magnetic Reconnection in Three Homologous Solar Flares Observed by *RHESSI*. Linhui Sui, Gordon D. Holman and Brian R. Dennis in *Astrophysical Journal*, Vol. 612, pages 546-556; September 1, 2004.

Multiwavelength Analysis of a Solar Flare on 2002 April 15. Linhui Sui, Gordon D. Holman, Stephen M. White and Jie Zhang in *Astrophysical Journal*, Vol. 633, pages 1175-1186; November 10, 2005.

General information about solar flares can be found at **http://hesperia.gsfc.nasa.gov/sftheory/**

Information about the Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager can be found at **http://hesperia.gsfc.nasa.gov/hessi/**

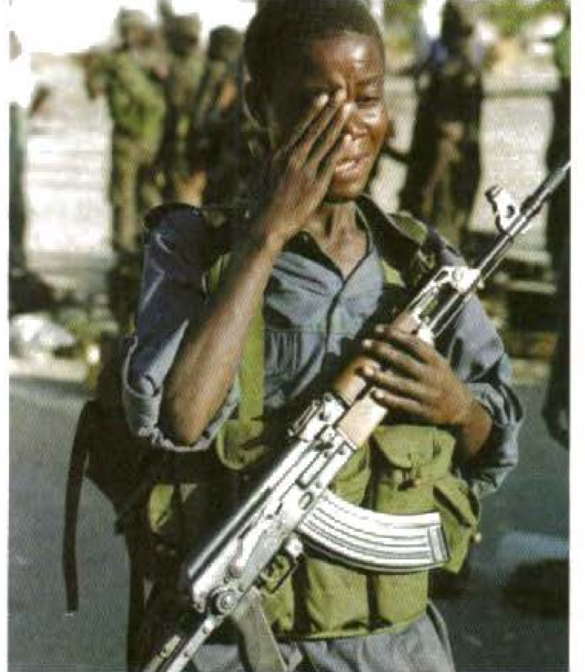
Scientific American, April 2006

تتمة الصفحة 9 (هل العولمة تساعد فقراء العالم أم قد تضر بهم؟

الدول المنتجة للقهوة من أرباح كان أقل من نصف ما تم تحقيقه قبل عقد من الزمن. فالمشكلة ليست في الأسواق العالمية، ولكنها تكمن في عدم القدرة على الوصول إلى تلك الأسواق، أو الأسعار المنخفضة المعروضة على المنتجين نتيجة للقدرة الاحتكارية التي تتمتع بها مجموعة قليلة من شركات بيع المفرق. ففي بعض الصناعات، يمكن أن تتحد بعض الشركات لتثبيت الأسعار. وقد اقترح بعض الاقتصاديين تأسيس وكالة تحقيق دولية مناهضة للتروستات[1]. وحتى وإن لم يكن لهذه الوكالة سلطة تنفيذية، من الممكن لها أن تعبئ الرأي العام وتقوي مواقف المنظمات الأخرى المناهضة للتروستات. هذا ويمكن لبرامج الشهادات الدولية الخاصة بجودة المنتجات أن تساعد الدول الفقيرة على الوصول بمنتجاتها إلى الأسواق العالمية.

البرامج الاجتماعية. يناقش العديد من الاقتصاديين أنه إذا أُريد للتجارة أن تُحسِّن وضع دولة من الدول، فقد يكون على حكومة هذه الدولة، إعادة توزيع الثروات والدخول إلى حد ما، بحيث يتقاسم الرابحون من سياسات الانفتاح الاقتصادي المكاسب مع الخاسرين. وبالطبع، فإن عبارة «إلى حد ما» مازالت تترك المجال مفتوحا للخلافات. بيد أن بعض البرامج أقل إثارة للجدل. مثل برامج مساعدة العاملين على التأقلم عند فقدانهم وظائفهم وإعادة تدريبهم وتأهيلهم وتوظيفهم، وبرامج المنح الدراسية للطلبة الفقراء والتي برهنت على فعاليتها في تخفيض عمالة الأطفال أكثر من تحريم استيراد البضائع.

الأبحاث. لقد أدت «الثورة الخضراء»[2] دورا كبيرا في تخفيض الفقر في آسيا. فالشراكات الدولية الجديدة بين القطاعين العام والخاص يمكن أن تساعد على تطوير منتجات أخرى مناسبة للفقراء (على سبيل المثال الأدوية واللقاحات والمحاصيل). ولكن لا تملك الشركات الدوائية الدولية في ظل نظام براءات الاختراع الدولية الحالي الكثير من الحوافز للقيام بأبحاث مكلفة عن أمراض مثل الملاريا والسل التي تزهق أرواح الملايين في الدول الفقيرة كل عام. ولكن بدأ يبرز نوع من التعاون في مجال الأبحاث بين المنظمات المانحة، مثل منظمة الصحة العالمية والمجموعات الدولية التطوعية، مثل أطباء بلا حدود، والمؤسسات الخاصة مثل مؤسسة بل وميلندا گيتس.



جندي حكومي مراهق، بنكيلا، أنغولا، 1993.

إصلاح برامج الهجرة في الدول الغنية. يبدو أن السماح بهجرة أعداد كبيرة من العمال غير المؤهلين إلى الدول الغنية «كعمال ضيوف» يمكن أن يسهم في تخفيض الفقر العالمي أكثر من أي شكل من أشكال الاندماج في الاقتصاد العالمي، مثل تحرير التجارة. إلاّ أن المناخ الدولي الحالي لا يستحسن كثيرا تلك الفكرة.

إن الشعارات المناهضة للعولمة أو الخطب حول الفوائد المطلقة للتجارة الحرة لا تخدم قضية الحد من الفقر. حيث إن تحديد مدى تعقيد هذه القضايا وتضافر السياسات الوطنية والدولية سيكونان بالتأكيد أكثر جدوى. ■

(1) antitrust: ضد الشركات الاحتكارية

(2) Green Revolution

المؤلف

Pranab Bardhan

أستاذ العلوم الاقتصادية في جامعة كاليفورنيا - بيركلي. أجرى عددا من الأبحاث النظرية والدراسات الميدانية حول المؤسسات الريفية في الدول الفقيرة، والاقتصاد السياسي لسياسات التنمية، وكذلك حول التجارة العالمية. وربما يكون الأكثر شهرة في البرهان على أن الكفاءة الاقتصادية والعدالة الاجتماعية هما هدفان متكاملان وليسا متناقضين. لقد كان «باردهان» بين عامي 1985 و 2003 رئيس تحرير مجلة الاقتصاد التنموي. وهو حاليا رئيس مشارك في مؤسسة ماكارثر، وهي شبكة أبحاث دولية حول انعدام المساواة والأداء الاقتصادي.

مراجع للاستزادة

Moving to Greener Pastures? Multinationals and the Pollution Haven Hypothesis. G. S. Eskeland and A. H. Harrison in *Journal of Development Economics*, Vol. 70, No. 1, pages 1–24, February 2003.

The Impact of Globalization on the Poor. Pranab Bardhan in *Globalization, Poverty, and Inequality*. Edited by S. M. Collins and C. Graham. Brookings Institution Press, Washington, D.C., 2004.

Globalization, Gender and Poverty: Bangladeshi Women Workers in Export and Local Markets. N. Kabeer and S. Mahmud in *Journal of International Development*, Vol. 13, No. 1, pages 93–109; January 2004.

How Have the World's Poorest Fared Since the Early 1980's? Shaohua Chen and Martin Ravallion in *World Bank Research Observer*, Vol. 19, No. 2, pages 141–170; Fall 2004.

Globalization and Labor Income in Mexico. G. H. Hanson. National Bureau of Economic Research Working Paper No. 11027. Cambridge, Mass. January 2005.

Scientific American, April 2006

إيقاف داء ألزهايمر[*]

تكشف أبحاث جديدة عن استراتيجيات لصدّ السيرورات الجزيئية التي تفضي إلى هذا المرض المدمّر للذاكرة.

<M. S. وولف>

يقصم داء الزهايمر بالتدريج ذاكرات المرء إلى أن يصل إلى أقدمها. لكن العلماء يسعون إلى معالجات واعدة. وتستطيع بعض العلاجات تضييق الخناق على التقطيع الجزيئي الذي يبدو أنه يستهل هذا المرض. وثمة علاجات أخرى تستطيع منع التأثيرات الوبيلة التي تتبع ذلك.

إن دماغ الإنسان هو حاسوب عضوي معقّد بصورة بالغة البراعة، يجمع تشكيلة واسعة من الخبرات الحسية ثم يعالج هذه المعلومات ويختزنها، ويستذكر شذرات منها ويكاملها في اللحظات المناسبة. وقد جرى تشبيه الدمار الذي يسببه داء ألزهايمر بمحو قرص ممغنط يبدأ بالملفّات الأحدث ويستمر رجوعا إلى الملفات الأقدم. وغالبا ما تتمثّل علامة بدء هذا المرض بالإخفاق في استذكار حوادث الأيام القليلة الماضية ـ محادثة هاتفية مع صديق أو زيارة أحد عمال التصليح إلى المنزل ـ في حين تبقى استذكارات الحوادث القديمة سليمة. ولكن، وبينما تتقدم العلّة تتلاشى تدريجيا الذاكرات القديمة كما الحديثة إلى حين لا يعود المريض يتعرّف حتى أحباءه. هذا ولا يتأتّى الخوف من داء الزهايمر من ألم أو معاناة بدنيّة، بل

(*) SHUTTING DOWN ALZHEIMER'S

يخرب داء ألزهايمر مكونات الدماغ نفسها.

من الفقد المعنّد لذاكرات العمر التي تؤلّف الهوية الحقيقية لصاحبها.

ولسوء الحظ، ينهار هذا الشبه بين دماغ الإنسان والحاسوب: إذ لا يستطيع المرء ببساطة إعادة تشغيل الدماغ البشري مثلما يفعل في الحاسوب، أو أن يعيد تحميل ملفاته وبرامجه. فالمشكلة هي أن داء ألزهايمر لا يمحي فقط المعلومات: إذ إنه يُتلف **مكونات** hardware الدماغ الذي يضم أكثر من 100 بليون من الخلايا العصبية (العصبونات) مع 100 ترليون من الوصلات بينها. ويستفيد معظم الأدوية الحالية لداء ألزهايمر من حقيقة أن العديد من العصبونات تنفقد بسبب توقف انطلاق نمط من **الموصلات** communicators الكيميائية أو **النواقل العصبية** neurotransmitter يسمى الأستيلكولين acetylcholine، وذلك بسبب المرض. ولمّا كانت هذه الأدوية **تحصر** block الإنزيم المسؤول عن التفكيك الاعتيادي للأستيلكولين، فإنها تزيد كميات هذا الناقل العصبي الذي تنضب كميته عادة بدونها. وتكون النتيجة إذًا تنشيط العصبونات وتحقيق تفكير أوضح. ولكن هذه العقاقير تصبح نمطيا عديمة الجدوى في غضون ما بين ستة أشهر إلى سنة لأنها لا تستطيع إيقاف التدمير القاسي للعصبونات. وثمة دواء آخر، يدعى **ميمانتين** memantine، يبدو أنه يُبطئ **التدهور المعرفي** cognitive لدى المرضى الذين إصابتهم بالألزهايمر معتدلة إلى شديدة. وذلك عن طريق حصر الفعالية المفرطة لناقل عصبي آخر مختلف هو **الكلوتامات** glutamate، ولكن الباحثين لم يحددوا بعد إذا كانت مفاعيل هذا العقّار تدوم أكثر من سنة واحدة.

قبل أكثر من عقد من الزمن كانت فئة قليلة من الناس متفائلة حول توقعات قهر داء ألزهايمر. فلم يكن العلماء يعرفون إلاّ القليل عن بيولوجية هذا المرض، وكان يعتقد بأن منشأه ومساره معقّدان إلى حد يبعث على اليأس. أما اليوم، فقد أحرز الباحثون تقدّما هائلا باتجاه فهم الحوادث **الجزيئية** molecular التي يبدو أنها تقدح هذا الداء، ويقومون حاليا باستكشاف تشكيلة من الاستراتيجيات لإبطاء أو إيقاف هذه السيرورات المدمِّرة. ولعل واحدة من هذه المعالجات، أو مجموعة منها، تستطيع إعاقة **تنكُّس** degeneration العصبونات بالقدر الذي يكفي لإيقاف داء ألزهايمر في مساراته. وهناك بضعة علاجات مرشحة تخضع للتجريب السريري، وقد أسفرت عن بعض النتائج الأولية الواعدة. ويتزايد يوما بعد يوم عدد الباحثين الذين يستشعرون الأمل، مع أن الأمل كلمة لا تصاحب عادة داء الزهايمر.

الفرضية النشوانية(*)

هناك سمّتان رئيسيتان تميّزان هذا المرض، لاحظ إحداهما طبيب الأعصاب الألماني <A. ألزهايمر>(1) قبل مئة عام وتتمثّل في **لويحات** plaques **وحبائك** tangles في القشرة المخية **والجهاز الحوْفي** limbic system المسؤولين عن الوظائف الدماغية العليا. أما اللويحات فهي ترسُّبات موجودة خارج العصبونات وتتألف بشكل رئيسي من بروتين صغير يدعى (نشواني بيتا amyloid-beta أو A-beta). وأما الحبائك فتوجد داخل العصبونات واستطالاتها الفرعية (من **محاوير** axons **وتغصُّنات** dendrites) وتتألّف من خيوط من بروتين يدعى تاو tau. وقد استهلت ملاحظة هاتين الشاذتين نقاشا دام طوال معظم القرن العشرين وتمحور حول السؤال التالي: هل تعدُّ اللويحات والحبائك مسؤولة عن تنكُّس العصبونات الدماغية، أم أنها مجرد علامات على مكان حدوث الموت العصبوني؟ ففي العقد الماضي، كان الدليل أقرب إلى فرضية الشلال النشواني التي تقول إن النشواني بيتا وتاو كليهما متورطان في تسبيب داء الزهايمر، وإن النشواني بيتا يقدّم الإساءة الأولية.

إن النشواني بيتا A-beta هو اختصار لـ «ببتيد» قصير(2) أو **شُدْفة** fragment بروتينية، وقد جرى عزلها لأول مرة من قبل <G. كلنَر> و <W .C. وُنك> عندما كانا في جامعة كاليفورنيا بسانديكو. ويُشتق هذا الببتيد من بروتين أكبر يدعى طليعة النشواني ـ بيتا (أو APP اختصارا) وتنغرز جزيئات الطليعة APP في غشاء الخلية بحيث يكون جزء من البروتين في داخل الخلية والجزء الآخر خارجها. ويقوم إنزيمان شاطران للبروتين (وهما البروتيازان بيتا-سكريتاز(3) وكاما-سكريتاز(4)) باقتطاع النشواني بيتا من الطليعة APP، وهذه عملية تحدث فعليا في جميع خلايا الجسم. ومن غير الواضح سبب قيام بعض الخلايا بإنتاج النشواني بيتا، لكن الأدلة الحالية تشير إلى أن هذه السيرورة هي جزء من **مسار تأشير** signalling pathway.

إن قسما من منطقة النشواني بيتا للطليعة APP موجود داخل الغشاء الخلوي نفسه، بين طبقتيه الخارجية والداخلية. وبما أن الأغشية تتألف من ليبيدات كارهة للماء، فإن مناطق البروتينات التي تجتاز الأغشية تحتوي نمطيا على حموض أمينية مضادة للماء. فعندما ينبتر النشواني بيتا من الطليعة APP بوساطة بيتا وكاما سكريتاز وينطلق داخل الوسط المائي خارج الغشاء، فإن المناطق الكارهة للماء لمختلف جزيئات

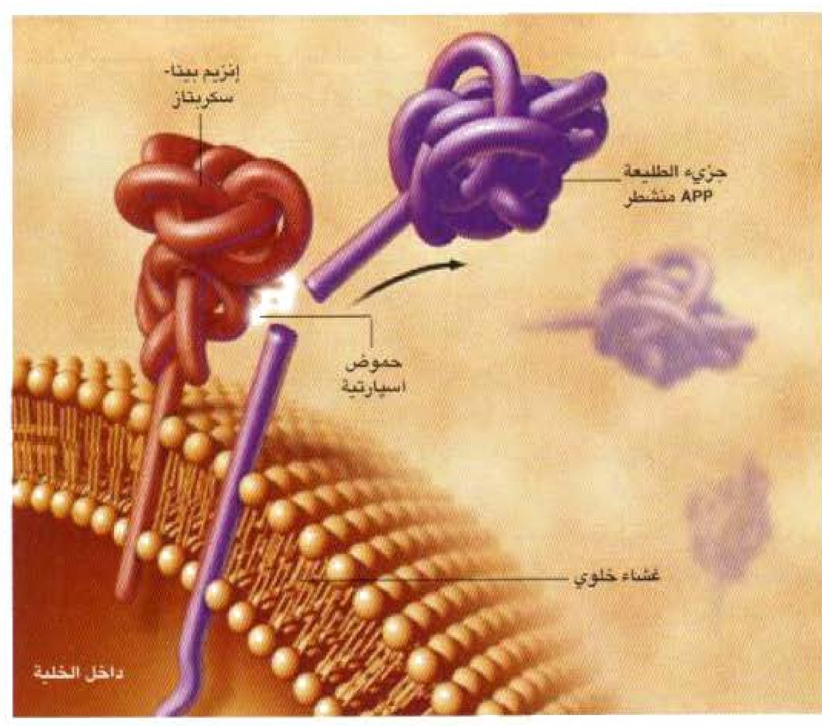
نظرة إجمالية/ أمل جديد للمسنّين(**)

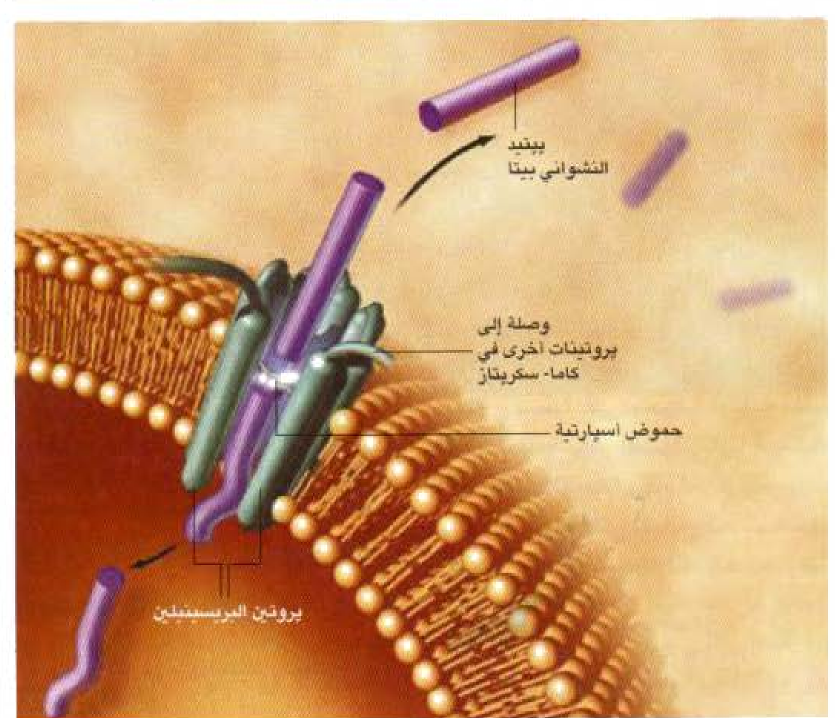
- ركّز العلماء اهتمامهم على فرضية أن ببتيدا يدعى النشواني-بيتا A-beta يتسبب في تعطيل وموت الخلايا الدماغية لدى مرضى داء الزهايمر.
- يطوّر الباحثون حاليا عقاقير تستطيع تثبيط إنتاج النشواني بيتا، كما يطورون معالجات تستطيع ثني هذا الببتيد عن إيذاء العصبونات.
- ثمة بضعة عقاقير مرشحة هي حاليا قيد الاختبار السريري لتقرير ما إذا كانت تستطيع إبطاء أو إيقاف التدهور العقلي القاسي الذي يسببه داء الزهايمر.

(*) The Amyloid Hypothesis
(**) Overview/ New Hope for the Old
(1) Alois Alzheimer
(2) short peptide
(3) beta-secretase
(4) gamma-secretase

القطع الأقسى(*)

حسب فرضية الشلال النشواني، يبدأ داء الزهايمر بتكديس النشواني بيتا A-beta المقطوع من بروتين طليعة هذا النشواني (APP). ففي الخطوة الأولى (في الأعلى) يعمد إنزيم يدعى بيتا سكرتاز إلى قص الطليعة APP في الجزء الواقع خارج الغشاء الخلوي وذلك بمساعدة الحموض الأسبارتية التي تجعل جزيئات الماء أكثر تفاعلا. ثم يقوم بروتين البريسينيلين، وهو أحد مكونات الإنزيم كاما-سكرتاز، بقطع الكتلة الباقية من الطليعة APP الموجودة داخل الغشاء الخلوي، مطلقا بذلك النشواني بيتا (في أسفل الشكل). وثمة عقاقير واعدة تثبط فعالية الإنزيم كاما-سكرتاز، وعقاقير أخرى تجعل هذا الإنزيم يقطع الطليعة APP في موقع مختلف بحيث يولد شكلا قصيرا أقل إيذاء من النشواني بيتا.





النشواني بيتا يتلاصق بعضها ببعض لتشكّل تجمعات صغيرة ذوّابة. وفي بداية تسعينات القرن الماضي، بيّن «P. T. لانسبوري جونيور» [الذي يعمل حاليا في كلية طب هارفرد] أنه في حالة التراكيز العالية بالقدر الكافي، يمكن لجزيئات النشواني بيتا في أنبوب الاختبار أن تتجمّع في بنى خيطيّة الشكل تشبه تلك الموجودة في لويحات داء الزهايمر. وتتصف تجمّعات النشواني بيتا الذوّابة وكذلك الياف بأنها تُسمّم العصبونات المستنبتة في أطباق بتري(1). وبأن هذه التجمعات تستطيع أن تتدخّل في سيرورات حدّية تخصُّ التعلم والذاكرة لدى الفئران.

صحيح أن هذه المكتشفات قد دعمت فرضية الشلال النشواني، لكن الدليل الأقوى جاء من دراسات على أُسَر ذات خطورة عالية للإصابة بداء الزهايمر. فأفراد هذه العائلات يحملون طفرات جينيّة نادرة تؤهبهم لهذا المرض في عمر صغير نسبيا، وقبل سن الستين نمطيا. ففي عام 1991 اكتشف «J. هاردلي» [ويعمل حاليا في المعهد الوطني للشيخوخة في الولايات المتحدة] وزملاؤه أوّل مثل لهذه الطفرات في الجينة التي **تكوّد** encode الطليعة APP، وتؤثر على الخصوص في بقع البروتين الموجودة داخل وحول منطقة النشواني. وسرعان ما وجد بعد ذلك كل من «D. سلكو» [من هارفرد] و «S. يونكين» [من مايوكلينيك في جاكسون فيل بولاية فلوريدا] (كل على حدة) أن هذه الطفرات تزيد من تشكيل النشواني عموما أو نمط خاص منه هو عرضة بشكل كبير لتكوين ترسُّبات. وأكثر من ذلك، فإن الأشخاص ذوي متلازمة داون(2) الذين يحملون ثلاث نسخ من الصبغي 21 بدلا من نسختين، معرضون أكثر من غيرهم للإصابة بداء الزهايمر في منتصف أعمارهم. وبما أن الصبغي 21 يحتوي على جينة الطليعة APP، فإن الأشخاص المصابين بمتلازمة داون يصنعون كميات أعلى من النشواني منذ الولادة. ويمكن أن تظهر الترسبات النشوانية في أدمغتهم منذ بلوغهم سن الثانية عشرة.

وسرعان ما اكتشف الباحثون روابط أخرى بين داء الزهايمر وبين الجينات التي تنظّم إنتاج النشواني بيتا. ففي عام 1995

(*) The Unkindest Cut
(1) petri dishes
(2) Down syndrome



إزالة تلبُّك الدماغ(*)

تتمثلُ إحدى استراتيجيات محاربة داء الزهايمر في إزالة كداسات النشواني بيتا السامة من الدماغ

تغصن

عصبون

تجمعات

خيوط

نشواني بيتا

خلية بطانية

محوار

فبعد انطلاق هذا النشواني داخل الوسط المائي الموجود بين العصبونات، تتعالق هذه الببتيدات بعضها مع بعض لتشكِّل تجمُّعات ذوَابة صغيرة وخيوطا طويلة. وقد أظهرت الدراسات المختبرية أن هذه التجمعات والخيوط تستطيع قتل العصبونات المستنبتة في أطباق بتري وإصابة الوصلات الكائنة بين العصبونات لدى الفئران بالأذى. ويقوم الباحثون الآن بتعقُّب استراتيجيات متنوعة لإبطاء أو إيقاف تكدُّس النشواني-بيتا.

شعرية دموية

خلية دبقية ميكروية

ضد
(جسم مضاد)

ثمّة مقاربة واعدة تتضمنُ تحريض جسم المريض على صُنْع أضداد تتعرَّف الببتيد، أو حقن أضداد مشابهة جرى إنتاجها في المختبر (*الأسهم الخضراء*). يمكن لهذه الأضداد أن تستحثَّ الخلايا المناعية الدماغية (أو الدبق الميكروي) على مهاجمة تجمعات النشواني بيتا وليس من الضروري أن تدخل هذه الأضداد الدماغ، إذ إن إزالة هذا النشواني في بقية الجسم تستطيع جعل هذه الببتيدات تنفذ من التراكيز العليا في الدماغ إلى التراكيز الدنيا في أي مكان آخر (كما تُشير *الأسهم الأرجوانية*).

حــدّد <P. جــورج-هايسلوب> وزمــلاؤه [في جامعة تورونتو] طفرات في جينتين مترابطتين سُــمــيتــا *بريســينيلين 1* و*بريســينيلين 2* ويسببان أشكالا شرسة من داء الزهايمر في وقت مبكر جدًا، إذ تظهر هذه الأشكال نمطيا حينما يكون حامله أو حاملته في الثلاثينات أو الأربعينات من العمر. وقد بيّنت دراسات لاحقة أن هذه الطفرات تطيل جزء النشواني بيتا الأكثر عرضة للتكتلّ. ونعلم حاليا أن البروتينات المكوّدة بجينات *البريسينيلين* هي جزء من إنزيم گاما-سكريتاز.

وهكذا، تقـوم إحــدى الجــينات الثــلاث المعروفة بتسـبيبـهـا داء الزهايمر في وقت مبكر بتكويد طليعة النشواني بيتا، في حين تخصص الجينتان الأخريان مكوِّنات إنزيم پروتيازي يساعد على تصنيع الپپتيد المؤذي ثم إن العلماء، وجدوا أن الأشخاص الذين

(*) Unclogging the Brain

(1) presenilin 1 و presenilin 2

من المحتمل جدا أن تؤدي تشكيلة من العوامل الجينية دورا في هجوم هذا المرض.

يحملون انحرافا معيناً في الجينة التي تكوِّد أبوليپوپروتين apolipoprotein E، وهو پروتين يساعد على تجميع پپتيدات النشواني بيتا في تكتلات وخيوط، كانوا أكثر عرضة للإصابة لاحقا بداء ألزهايمر. ومن المحتمل جداً وجود تشكيلة من العوامل تؤدي دورا في ابتداء هذا المرض، مع إسهام صغير لكل منها؛ كما تشير الدراسات على الفئران أن العوامل البيئية يمكن أن تؤثر كذلك في خطورة هذا المرض (ونذكر أن التمارين الرياضية على سبيل المثال قد تقلل من هذه الخطورة).

ومازال العلماء لا يعرفون بدقة كيف تتمزق تجمعات النشواني بيتا الذوابة وخيوطه غير الذوابة فتقتل العصبونات. ومع ذلك، فإن الأدلة تشير إلى أن كداسات النشواني بيتا خارج عصبون ما تستطيع قدح شلال من الحوادث يتضمن تحوير پروتينات التاو tau في داخل الخلية. وبصورة خاصة، تستطيع كداسات النشواني بيتا هذه أن تغيّر في نهاية المطاف الفعالية الخلوية لإنزيمات تدعى **كينازات** kinases تعمل على إدخال الفسفات في الپروتينات. فالكينازات المصابة تضيف كثيرا من الفسفات إلى التاو أكثر من اللازم، فتتغير بذلك الخواص الكيميائية للپروتينات وتجعلها تشكّل خيوطا ملتفّة تقوم بدورها بقتل العصبون على نحو ما، ربما لكونها تمزّق الأنيبيبات الميكروية التي تنقل الپروتينات وجزيئات كبيرة أخرى على طول المحاوير والتغصُّنات. ونشير هنا إلى أن الطفرات في جينة التاو نفسها تستطيع أيضا أن تولدَ خيوط تاو وتسببَ أنماطا أخرى من الأمراض التنكُّسية إلى جانب داء ألزهايمر. وهكذا، فإن تشكُّل خيوط التاو (وهو في الظاهر حدث أكثر عمومية) يفضي إلى الموت العصبوني في حين أن النشواني بيتا هو مستهلٍّ نوعي لداء ألزهايمر.

تشديد المقص الجزيئي[*]

إذا أخذنا بالحسبان في سيرورة هذا الداء الدورَ الحدِّي للنشواني بيتا، تكون الپروتيازات التي تولدُ هذا الپپتيد هدفا واضحا للعقاقير التي يمكن أن تثبط فعاليتها. فقد ثبت اعتبار مثبطات الپروتياز فعّالة جدا في معالجة اضطرابات أخرى مثل الايدز وفرط ضغط الدم. ونشير هنا إلى أن أول خطوة في تشكيل النشواني بيتا يبدؤها بيتا-سكرتاز الذي هو پروتياز يحذف من الطليعة APP الكتلة الموجودة خارج الغشاء الخلوي. وفي عام 1999 اكتشفت خمس مجموعات بحثية مختلفة هذا الإنزيم، الذي يتوافر بشكل خاص في عصبونات الدماغ. ومع أن بيتا-سكرتاز ينشدُّ إلى الغشاء، فإنه يشبه مجموعة جزئية من الپروتيازات موجودة في الأوساط المائية داخل وخارج الخلايا. إن عناصر هذه المجموعة الجزئية، التي تضم الپروتياز المتورِّط في استنساخ الڤيروس HIV، الذي يسبب الايدز، تعمد إلى استخدام حمض الأسپارتيك (وهو نمط من الحموض الأمينية) من أجل **تحفيز** catalyze تفاعل تقطيع الپروتين. ونشير في هذا الصدد إلى أن جميع الپروتيازات تستخدم الماء في تقطيع الپروتينات الخاصة بها، وتستخدم الإنزيمات في عائلة الپروتيازات الأسپرتية زوجا من الحموض الأسپارتية لتفعيل جزيء ماء من أجل هذا الغرض.

ولمّا كان بيتا-سكرتاز يقع بوضوح ضمن هذه العائلة، استطاع الباحثون استغلال المعرفة الواسعة بهذه الپروتيازات وصولا إلى فهم مفصّل جدا عن هذا الإنزيم والطريقة التي يمكن بها إيقاف عمله. وفي الواقع، يعرف الباحثون سلفا البنية الثلاثية الأبعاد للإنزيم بيتا-سكرتاز واستخدموها مرشدا لتصميم مبني على الحاسوب لعقاقير مثبِّطة محتملة. وتوحي الدراسات الجينيّة بأن **حصر** blocking نشاط هذا الإنزيم لن يفضي إلى تأثيرات جانبية مؤذية، إذ إن حذف الجينة التي تكوِّد بيتا-سكرتاز لدى الفئران أوقف تشكيل النشواني بيتا في أدمغتها من دون أن يسبِّب ذلك لديها أي عواقب سلبية ظاهرة. ولكن مثبِّطات بيتا-سكرتاز في الوقت الحاضر مازالت غير جاهزة بعد للتجريب السريري. ويكمن التحدي الرئيسي في إيجاد مركبات فعالة صغيرة بقدر كافٍ لاختراق الدماغ على نحو فاعل. ونذكر هنا أن الشعريات في الدماغ، خلافا للأوعية الدموية في أنحاء الجسم الأخرى، تبطنها خلايا بطانية محكمة الارتصاص. وبسبب قلة الثغرات بين هذه الخلايا، يجب على مثبطات الپروتياز أن تستطيع اجتياز الأغشية الخلوية وصولا إلى النُسج الدماغية الكائنة خلف هذه الخلايا البطانية، حيث إن معظم الجزيئات الكبيرة لا تستطيع فتح ثغرة في ما يُسمى **الحائل الدموي الدماغي** blood - brain barrier.

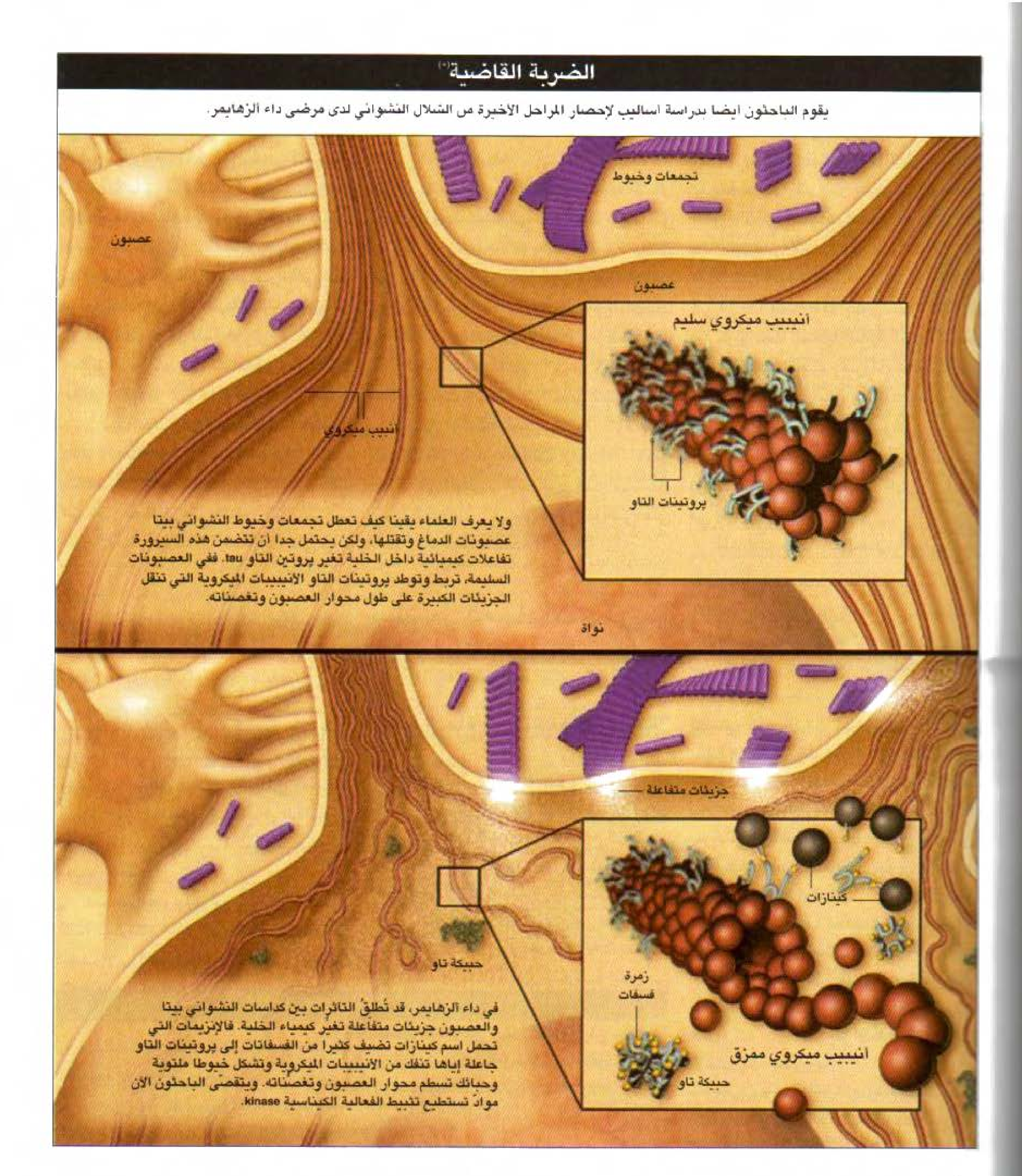
أما الإنزيم المسمى گاما-سكرتاز فإنه ينجز الخطوة الثانية في تشكيل النشواني بيتا المتمثلة في قطع الكتلة المتبقية من الطليعة APP بعد التشطّر الذي أحدثه بيتا-سكرتاز. فالإنزيم گاما-سكرتاز يحقِّق هذا الإنجاز غير العادي باستخدام الماء لقطع الپروتين الموجود داخل الوسط الكاره للماء في الجهة الأخرى من الغشاء الخلوي. وقد ثبتت أهمية اثنتين من **الدالات** clues في فهمنا لهذا الپروتياز. أولا، لقد وجد <B. دوستروپر> [من الجامعة الكاثوليكية في لوڤان ببلجيكا] في عام 1998 أن شطب الجينة بريسينيلين-1 في الفئران بشكل جيني يقلل إلى حد بعيد قص الطليعة APP من قبل گاما-سكرتاز. الأمر الذي يبيِّن أن الپروتين الذي تكوِّده هذه الجينة أساسي لعمل هذا الإنزيم. ثانيا، لقد اكتُشف في مختبري [يوم كنتُ في جامعة تينيسي بمدينة ممفس] أن مركبّات من الفئة الكيميائية نفسها كالمثبِّطات الكلاسيكية **للپروتيازات الأسپرتيلية** aspartyl proteases، تستطيع حصر التشطّر الذي يحدثه گاما-سكرتاز للطليعة APP في الخلايا. وتوحي هذه النتيجة بأن گاما-سكرتاز، مثله مثل بيتا-سكرتاز، يحتوي على زوج من الأحماض الأسپارتية ضروري لتحفيز تفاعل تقطيع الپروتين.

تأسيسا على هذه المشاهدات، افترضنا أن پروتين البريسينيلين قد يكون پروتيازا **أسپرتيليا** aspartyl استثنائيا مغروزا داخل حبكة الأغشية الخلوية. وبينما كنتُ في إجازة تفرُّغ للبحث العلمي أقضيها في جامعة هارڤرد، وبالتعاون مع <W. كسيا>،

(*) Clamping the Molecular Scissors

الضربة القاضية(*)

يقوم الباحثون أيضا بدراسة أساليب لإحصار المراحل الأخيرة من الشلال النشواني لدى مرضى داء ألزهايمر.



حدّدنا هوية حمضين أسبارتيين aspartic في البريسينيلين الذي تنبأنا بأنه يقع داخل الغشاء، وبيّنا أن هذين الحمضين أساسيان لتَشطُّر كاما-سكربتاز الذي يولد النشواني بيتا. كما بيّنّا لاحقا نحن وآخرون غيرنا، أن مثبِّطات الإنزيم كاما-سكربتاز ترتبط مباشرة بالبريسينيلين وأن ثلاثة بروتينات أخرى مطمورة بالغشاء يجب أن تتجمّع مع البريسينيلين لتتيح له أن يقوى على التحفيز. ويُعترف اليوم بأن كاما-سكربتاز هو عنصر مؤسس في صف جديد من البروتيازات يستعمل الماء بمهارة داخل الأغشية الخلوية لتحقيق مهماتها الحيوية الكيميائية. وأكثر من ذلك، تعتبر مثبِّطات الإنزيم كاما-سكربتاز جزيئات صغيرة نسبيا تستطيع التغلغل داخل الأغشية لتتمكن من اقتحام الحائل الدموي الدماغي.

(*) The Fatal Blow

وقبل سنتين تحدثت إلى طلبة الصف الخامس، ومن بينهم أصغر أبنائي، حول العمل في مختبري شارحا موضوع النشواني وكيف نأمل في حصر الإنزيمات المسؤولة بغية اكتشاف أدوية جديدة لداء الزهايمر. وقد قاطعني أحد الطلبة سائلا: «ولكن ماذا لو كان ذلك الإنزيم يفعل شيئا ما مهما؟ ربما يؤدي حجزه إلى إيذاء صاحبه!» إن هذا القلق الذي ساور ابن العاشرة عمرا هو قلق حقيقي جدا؛ إذ إن إمكانية أن يكون كاما-سكربتاز هدفا علاجيا تعيقها الآن حقيقة كون هذا الإنزيم يؤدي دورا حديًا في نضج **خلايا سليفة** precursor cells غير متمايزة في أنحاء مختلفة من الجسم، مثل الخلايا الجذعية في نقي العظام التي تتطور إلى خلايا دموية حمراء، وخلايا لمفاوية. وعلى وجه التحديد، يَقصُّ الإنزيم كاما-سكربتاز بروتينا خلويا سطحيًا يدعى **مُسْتقبل نوتش** Notch receptor، وتنطلق قطعة النوتش من الغشاء إلى داخل الخلية ثم ترسل إشارة إلى النواة التي تتحكم في مصير الخلية.

تسبِّب الجرعات العالية من مثبِّطات كاما-سكربتاز تأثيرات سميَّة شديدة لدى الفئران، وذلك نتيجة لتعطُّل **الإشارة النوتشية** Notch signal، مما يثير قلقا خطيرا بخصوص هذه المعالجة المحتملة. ورغم ذلك، نجحت الشركة Eli lilly المصنعة للأدوية في اختبارات سلامة مادة دوائية مرشحة على متطوعين (ويدعى هذا النوع من الاختبار **الطور الأول** phase I للتجريب السريري). ويتهيأ هذا المركب الآن لدخول المستوى الثاني من الاختبار (**الطور الثاني** phase II) على مرضى مصابين بداء الزهايمر المبكر. فضلا عن ذلك، حدّد الباحثون هوية جزيئات تستطيع تحوير كاما-سكربتاز على نحو يعيق إنتاج النشواني-بيتا من دون أن يؤثر في تشطُّر النوتش Notch. ولا تتأثر هذه الجزيئات مع الحموض الأمينية لكاما سكربتاز، بل عوضا عن ذلك ترتبط بمكان آخر على الإنزيم وتغير شكله.

تستطيع بعض المثبِّطات أن تحجِّم بشكل نوعي نسخة النشواني-بيتا الأكثر ميلا إلى التكدس، وذلك لصالح ببتيد أقصر لا يتكتل بتلك السهولة. وقد تبين أن أحد هذه الأدوية (وهو الفلوريزان Flurizan) (قام بتحديد هويته فريق بحث برئاسة «E. كو» [من جامعة كاليفورنيا] و«T. گولد» [من مايوكلينيك]) واعد إلى حد كبير لدى مرضى المرحلة المبكرة من داء الزهايمر، ويدخل الآن **الطور الثالث** Phase III الأكثر تقدُّما في التجريب السريري الذي سيشمل ما ينوف على ألف من هؤلاء المرضى على امتداد الولايات المتحدة الأمريكية.

يوما بعد يوم، يستشعر العلماء الأمل في قهر داء ألزهايمر، مع أن «الأمل» كلمة لا تصاحب عادة هذا الداء.

تنقية الدماغ من التجمعات السامة(*)

ثمة استراتيجية أخرى لمكافحة داء الزهايمر تتمثل في تنقية الدماغ من تجمّعات النشواني بيتا السامة بعد إنتاج الببتيد. وتتمثل إحدى المقاربات في **التمنيع الفعّال** active immunization الذي يتضمن تجنيد الجهاز المناعي للمريض من أجل غزو النشواني-بيتا. وفي عام 1999، حقق «D. شنك» وزملاؤه [في شركة إيلان من ساوث سان فرانسيسكو] اكتشافا خارقا فحقن النشواني بيتا داخل فئران مُهَنْدسة وراثيا من أجل تطوير لويحات نشوانية، أدى إلى تنشيط استجابة مناعية أوقفت تشكيل اللويحات في أدمغة الفئران الصغيرة وأزالت اللويحات التي كانت موجودة في الفئران المسنة. فقد أنتجت هذه الفئران **أضدادا** antibodies تعرَّفت النشواني بيتا. ومن ثم حثت هذه الأضداد على ما يبدو الخلايا المناعية الدماغية (أي **الدبق الميكروي** microglia) على مهاجمة كداسات الببتيد *(انظر الإطار في الصفحة 41)*. وسرعان ما قادت النتائج الإيجابية في الفئران، والتي تضمنت تحسين التعلُّم والذاكرة، إلى إجراء الاختبار على البشر.

لسوء الحظ، فمع أن حقن النشواني بيتا اجتاز اختبارات السلامة الأولى، نجد أن بضعة مرضى قد ظهر لديهم في اختبارات الطور الثاني **التهاب الدماغ** encephalitis، مما استدعى إيقاف هذه الدراسة في عام 2002 قبل الأوان. وأشارت أبحاث المتابعة إلى أن هذا العلاج قد يكون سبَّب الالتهاب عن طريق حث الخلايا التائية التابعة للجهاز المناعي على القيام بغزوات شرسة على ترسبات النشواني بيتا. ومع ذلك، فقد أكّدت التجارب أن العديد من المرضى أنتجوا أضدادا للنشواني-بيتا، وأن أولئك الذين تولّدت لديهم هذه الأضداد أظهروا تحسُّنا في الذاكرة والانتباه.

لقد أدّت مخاوف السلامة بخصوص التمنيع الفعّال إلى قيام بعض الباحثين بتجارب على **التمنيع المنفعل** passive immunization، الذي يهدف إلى إزالة الببتيد عن طريق حقن أضداد في أجساد المرضى. وهذه الأضداد التي جرى إنتاجها في خلايا فأرية وجرى هندستها وراثيا بحيث لا ترفضها أجساد البشر، لا يبدو أنها سوف تسبب التهاب الدماغ، لأنها لن تستنفر استجابة مؤذية من جانب الخلايا التائية في الدماغ. وقد وصلت المعالجة بالتمنيع المنفعل (التي طورتها الشركة Eli lilly) إلى الطور الثاني من الاختبارات السريرية.

وإلى حد ما، مازال الغموض يكتنف مقدار استطاعة التمنيع الفعال أو المنفعل في إزالة النشواني بيتا من الدماغ، إذ لم تتضح بعد درجة فعالية عبور الأضداد للحائل الدموي الدماغي. فهناك بعض الأدلة التي توحي بأن هذا الدخول إلى داخل الدماغ غير مطلوب بمعنى أن تشريب النشواني بيتا في أنحاء الجسم قد يفضي إلى رحيل هذا الببتيد من الدماغ، لأن الجزيئات تنحو إلى الانتقال من

(*) Clearing the Cobwebs

التركيز الأعلى إلى التركيز الأخفض. ومع أن التمنيع المنفعل يبدو الآن أنه الواعد الأكثر، فإن التمنيع الفعّال مازال يحظى ببعض الاعتبار، إذ تظهر دراسات أولية، يجريها زميلي في هارڤرد <C. ليمير>، أن التمنيع بأجزاء منتقاة من النشواني بيتا بدلا من كامل الپپتيد يستطيع تنبيه الخلايا البائية المولدة للأضداد في الجهاز المناعي بدون استنفار الخلايا التائية المسؤولة عن التهاب الدماغ.

ويتابع باحثون آخرون استراتيجيات غير مناعية لإيقاف تكدّس النشواني بيتا. وقد حددت بضع شركات هوية مركّبات تتآثر مباشرة مع هذا النشواني لإبقاء الپپتيد بحالة ذوبان في السائل الموجود خارج العصبونات الدماغية، مما يمنع تشكيل تكتلات مؤذية. وتطور حاليا الشركة نيوروشيم Neurochem في كويبك (كندا) مركبا اسمه الزهيميد Alzhemed، وهو جزيء صغير يحاكي بوضوح مضاد التخثّر الطبيعي المسمى هيپارين heparin. والهيپارين يمنع الصفيحات في الدم من التكتّل في **جلطات** clots. ولكن حينما يرتبط متعدد السكريدات هذا بالنشواني بيتا، فإنه يجعل الپپتيد أكثر ميلا إلى تشكيل ترسبات. وبما أن الزهيميد يرتبط بالمواقع نفسها على النشواني بيتا، فإنه يحصر فعالية الهيپارين، ومن ثم يخفّض تكدّس الپپتيد. ولم يبد هذا المركب أي سمية (أو القليل منها) حتى في حالة الجرعات العالية جدا. وقد حققت المعالجة به بعض التحسن لدى المرضى المصابين إصابة خفيفة بداء الزهايمر. هذا وإن اختبارات الطور الثالث السريرية لهذا العقار المرشح هي قيد الإجراء حاليا.

استهداف التاو(*)

لكن النشواني لا يشكل سوى نصف مشكلة داء الزهايمر. والنصف الآخر، المتمثّل في **خيوط التاو** tau filaments التي تسبب الحبائك العصبونية، يعتبر كذلك هدفا واعدا لمنع تنكّس عصبونات الدماغ. ويركّز الباحثون اهتمامهم بشكل خاص على تصميم مثبّطات تستطيع حصر الكينازات التي تضع كمية زائدة من الفسفاتات فوق التاو، وتلك خطوة لا غنى عنها في تشكل الخيوط. صحيح أن هذه الجهود مازالت لم تقدّم أي عقاقير مرشّحة إلى الاختبارات السريرية، ولكن الأمل معقود بأن تتضافر في نهاية المطاف مثل هذه المركّبات مع المركبات التي تستهدف النشواني بيتا.

وكذلك يستكشف الباحثون حاليا ما إذا كانت العقاقير المخفّضة للكولستيرول، والتي تدعى **الستاتينات** statins (وهي مركبات واسعة الاستخدام لتقليل خطورة الأمراض القلبية)، يمكن أن تصبح علاجا لداء الزهايمر أيضا. فالدراسات الوبائية توحي بأن الناس الذين يتناولون الستاتينات تكون خطورة إصابتهم بداء الزهايمر أقل من غيرهم. ولكن سبب هذا الترابط غير واضح كليا. فبتخفيض مستويات الكولستيرول، قد تخفّض هذه العقاقير إنتاج الطليعة APP، أو ربما تؤثر بشكل مباشر في تشكل النشواني بيتا وذلك عن طريق تثبيط فعالية السكريتازات المسؤولة. وتحاول حاليا اختبارات الطور الثالث أن تتحقق ما إذا كانت الستاتينات، مثل عقار ليپتور lipitor الذي تنتجه الشركة فايزر، تستطيع حقا أن تمنع داء الزهايمر.

وثمة تطور مثير حديث يتضمّن **المعالجة الخلوية** cell therapy. فقد أخذ <M. توزنسكي> وزملاؤه [في جامعة كاليفورنيا بسان دييكو] خزعات جلدية من مرضى مصابين بداء الزهايمر خفيف وغرزوا الجينة المكودة لعامل النمو العصبي NGF داخل هذه الخلايا، ثم وضعوا جراحيا الخلايا المحورة جينيا داخل الدماغ الأمامي لهؤلاء المرضى. وكانت فكرتهم تتلخص في أن هذه الخلايا المغروسة سوف تولّد وتفرز العامل NGF، فتمنع بذلك فقدان العصبونات المولّدة للأستيلكولين وتحسّن بالتالي الذاكرة. لقد كانت المعالجة المبنية على الخلايا استراتيجية ذكية لإيصال العامل NGF، الذي هو پروتين كبير لا يستطيع بغير ذلك اقتحام الدماغ. ومع أن هذه الدراسة لم تشمل إلا عددا قليلا من الأشخاص وافتقرت إلى ضوابط مهمة، فقد أظهرت أبحاث المتابعة تباطؤا في **التراجع المعرفي** cognitive declin. وقد اعتبرت النتائج جيدة بما يكفي لتبرير متابعة الاختبارات السريرية.

ومع أن بعض هذه المعالجات المحتملة قد لا يلبي طموح العلماء، فإنهم يأملون العثور على مادة واحدة على الأقل تستطيع فعليا أن تخفض أو توقف الفقد التدريجي للعصبونات في الدماغ. ومثل هذا الاختراق العلمي قد ينقذ أرواح ملايين الناس من التدهور المعند الذي يتصف به داء الزهايمر ويمهّد الطريق لدواء تجديدي يستعيد الوظائف العقلية المفقودة.

صحيح أن استهداف النشواني بيتا يمكن أن يوقف هجوم داء الزهايمر أو يؤخّر ظهوره، ولكن يبقى من غير الواضح ما إذا كانت هذه الاستراتيجية ستعالج أو تشفي أولئك المصابين بمراحل متقدمة من ذلك المرض. وعلى كل حال، لايزال لدى الباحثين أسباب تستدعي التفاؤل الحذر. وقد أقنعت التجاذبات الحديثة في الاكتشافات الكثير منا بأن تنقيبنا عن طرق لمنع داء الزهايمر ومعالجته لن يكون ضربا من العبث. ■

(*) Targeting Tau

المؤلف

Michaed S. Wolfe

أستاذ علم الأعصاب المشارك في مستشفى النساء بكلية طب هارڤرد، حيث تركّز أبحاثه على فهم الأساس الجزيئي لمرض الزهايمر وتحديد الاستراتيجيات العلاجية الفعالة. حصل على الدكتوراه في الكيمياء الطبية من جامعة كنساس، وأسّس في مطلع هذا العام مختبرا لعقاقير الزهايمر التجريبية في كلية طب هارڤرد ويتخصص هذا المختبر بتطوير جزيئات واعدة في عقاقير لداء الزهايمر.

مراجع للاستزادة

Decoding Darkness. Rudolph E. Tanzi and Ann B. Parson. Perseus Books Group, 2000.

Hard to Forget: An Alzheimer's Story. Charles Pierce. Random House, 2000.

Therapeutic Strategies for Alzheimer's Disease. Michael S. Wolfe in *Nature Reviews Drug Discovery*, Vol. 1, pages 859-866; November 2002.

More information can be found online at **www.alz.org** and **www.alzforum.org**

Scientific American, May 2006

إحباط الإرهاب النووي(*)

يحتوي الكثير من المفاعلات النووية المدنية على يورانيوم عالي التخصيب يمكن أن يستغله إرهابيون لصنع قنابل نووية.

<A. كلازر> ـ <F. N. ڤون هيبل>

احتوت القنبلة التي أحرقت مدينة هيروشيما اليابانية في نهاية الحرب العالمية الثانية على نحو 60 كيلوغراما من اليورانيوم التسلسلي التفاعل وعندما فرقعت المتفجرة الأمريكية «الصبي الصغير»(1) فوق المرفأ المشؤوم أُطلق قسم من شحنة القنبلة ـ دون الكتلة الحرجة ـ على القسم الآخر بوساطة آلية بسيطة نسبيا تشبه آلية البندقية، مما سبَّب زيادة كتلة اليورانيوم 235 في القسمين عن الكتلة الحرجة وانفجارها بقوة تعادل خمسة عشر ألف طن من مادة الـTNT. أمّا القنبلة التي دمَّرت ناكازاكي بعد ذلك بعدة أيام فقد استعملت شحنتها المتفجرة البلوتونيوم بدلا من اليورانيوم، مما تطلّب استعمال تقانة أكثر تعقيدا لتفجيرها.

ورغم إنتاج أكثر من مئة ألف سلاح نووي من قبل دول قليلة وبعض حلفائها خلال الستين سنة التي تلت الحرب العالمية الثانية لم يحدث حتى الآن أيُّ تدمير نووي مشابه، اللهم إلا ما يظهر اليوم من تهديدات مخيفة إضافية، حيث يمكن لمنظمة إرهابية محليَّة مثل «القاعدة» أن تحصل على اليورانيوم العالي التخصيب(2) وتنشئ صاعقا بسيطا من نمط البندقية، ثمَّ تستعمل السلاح النووي الناتج ضدَّ هدف مدني. واليورانيوم العالي التخصيب هو فلز اليورانيوم الذي تبلغ فيه نسبة اليورانيوم 235 (وهو النظير القادر على تغذية التفاعل التسلسلي النووي) نحو 20% من وزنه على الأقل.

إنَّ الهندسة التي يتطلبها بناء قنبلة ذرية من نمط البندقية بسيطة للغاية إلى حدٍّ أنَّ الفيزيائيين الذين صمَّموا «الصبي الصغير» لم يُجروا اختبارا نوويا على التصميم قبل إلقاء المتفجرة، إذ لم يكن لديهم أدنى شك في انفجارها بمجرد قدح زناد «البندقية». ولذلك يُقرُّ الخبراء بأنه في مقدور مجموعة إرهابية منظَّمة جيدا إنتاج آلية حسنة الأداء من نمط البندقية. وفي الحقيقة، أبدى بعض هؤلاء الخبراء مخاوف في محلِّها حول إمكان اختراق بعض الانتحاريين لمنشآت تخزين اليورانيوم العالي التخصيب وإنشاء ما يشبه الجهاز النووي المرتجل، ثمَّ تفجيره قبل أن يتمكَّن الحراس من التصدي لهم.

ومع أن إنتاج اليورانيوم العالي التخصيب بعيد عن متناول الهيئات غير الحكومية، فإن حيازته من خلال السرقة أو الشراء من السوق السوداء ليست كذلك، فالأرض مطمورة بنحو 1800 طن من هذه المادة التي تمَّ تخصيبها أثناء الحرب الباردة بوساطة الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوڤييتي أساسا، حيث يمكن حاليا العثور على اليورانيوم العالي التخصيب في مواقع عسكرية ومدنية على حدٍّ سواء، لكننا سوف نركز اهتمامنا على اليورانيوم العالي التخصيب المتوافر في المنشآت المدنية، أو المراد استخدامه كوقود في المفاعلات النووية البحثية. وسنُعنى بصورة خاصة باليورانيوم العالي التخصيب المدني لأنه

نظرة إجمالية/ حماية اليورانيوم 235 في الاستخدامات المدنية(**)

- يمكن للإرهابيين الذين حصلوا على أقل من 100 كيلوغرام من اليورانيوم العالي التخصيب بناء قنبلة ذرية بدائية (ولكن فعالة) وتفجيرها بشيء من السهولة. كما أن اليورانيوم العالي التخصيب جذاب بالنسبة للدول التي تبحث في الخفاء عن تطوير أسلحة نووية أيضا من دون إجراء اختبارات عليها.
- لسوء الحظ، غالبا ما تُخزَّن كميات كبيرة من اليورانيوم العالي التخصيب في منشآت الأبحاث النووية عبر العالم (بشكل خاص في روسيا) ضمن شروط أمن.
- أقامت الولايات المتحدة الأمريكية وحلفاؤها برامج لمساندة الإجراءات الأمنية ولتحويل المفاعلات لاستعمال اليورانيوم المنخفض التخصيب (الذي لا يمكن استعماله في الأسلحة) ولاستعادة اليورانيوم العالي التخصيب من المفاعلات النووية عبر العالم. ومع ذلك تظل بعض الثغرات الخطرة موجودة.
- يمكن أن يحرز اهتمام حكومي عالي المستوى، مع بعض الدعم المادي تقدما حثيثا في حلِّ هذه المشكلة تماما.

(*) THWARTING NUCLEAR TERRORISM
(**) Overview/Securing Civilian Uranium 235
(1) Little Boy
(2) Highly Enriched Uranium (HEU)

محروس بحماية أقلّ من حماية المخازن العسكرية. (وقود اليورانيوم المستعمل في توليد الكهرباء في مفاعلات الطاقة النووية يكون مخصّبا بقدر طفيف يراوح بين 3 و5% من وزنه من اليورانيوم 235).

يتوافر أكثر من خمسين طنا من اليورانيوم العالي التخصيب في الاستعمال المدني منتشرة حول العالم لتزويد نحو 140 مفاعلا تستعمل في الأبحاث العلمية أو الصناعية أو في إنتاج نظائر مشعة لازمة لأغراض طبية. وغالبا ما توجد هذه المنشآت في مناطق حضرية وتكون محمية بأقلّ قدر ممكن من الحراسة والمنظومات الأمنية. وأكثر ما يدعو إلى القلق هو مجمّعات المفاعلات الروسية المزوّدة باليورانيوم العالي التخصيب، فهي تشكّل ثلث عدد المفاعلات في العالم ويوجد فيها ما يزيد على نصف مجموع اليورانيوم العالي التخصيب المدني.

من الضروري تحسين منظومات الأمن [*انظر الإطار في الصفحة 52*]. لكن الحلّ الأكثر فعالية على المدى الطويل لمواجهة الخطر الذي يفرضه الإرهاب النووي يتمثل في إقصاء استعمال اليورانيوم العالي التخصيب بقدر الإمكان والتخلص من المخزونات المتراكمة، ثمّ إنه يجب تخفيف اليورانيوم العالي التخصيب الذي نحصل عليه باليورانيوم 238 (وهو أكثر نظائر اليورانيوم التي لا يمكنها تعزيز تفاعل تسلسلي) لإنتاج ما يسمّيه الاختصاصيون اليورانيوم المنخفض التخصيب[1] (وهو يحتوي على أقل من 20% من اليورانيوم 235) الذي لا يمكن استعماله في الأسلحة.

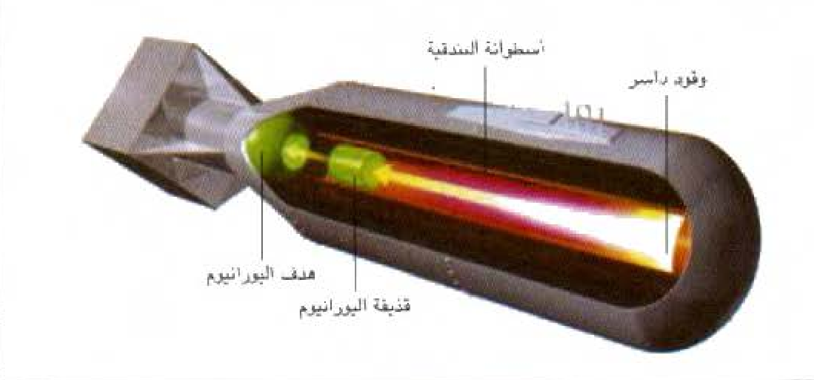
يرجع منشأ اليورانيوم العالي التخصيب في الكثير من المنشآت المدنية إلى جهود التنافس بين الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفييتي خلال فترة الخمسينات والستينات من القرن الماضي التي تعرف بحقبة «الذرة من أجل السلام». ولما كانت القوتان العظميان للحرب الباردة قد بنيتا المئات من المفاعلات البحثية لأنفسهما، فقد قدمتا في الوقت نفسه هذه المنشآت إلى نحو خمسين دولة لنيل تأييدها السياسي ولإنشاء تقانات مفاعلاتها في الخارج. وتمّ لاحقا تخفيف قيود التصدير، استجابة للاحتياجات إلى وقود نووي لفترات أطول، وهذا ما أدى إلى تزويد معظم المفاعلات البحثية باليورانيوم العالي التخصيب المستعمل في القنابل الذي كان ينتجه البلدان بكميات كبيرة للأسلحة النووية. وتحتوي هذه المادة العالية التركيز على نحو 90% من اليورانيوم 235. وبحلول نهاية عام 2005 يبقى نحو 10 أطنان مترية من اليورانيوم العالي التخصيب المستعمل في القنابل متوافرا عند دول لا تملك أسلحة

إنّ الوهج اللازوردي اللون لإشعاع شرنكوف في حوض التبريد المائي لمفاعل الأبحاث النووية يشير إلى تغذية المنظومة بالوقود النووي وأنها قيد العمل. وفي العديد من الحالات تتساهل المنشآت المدنية في تطبيق الإجراءات الأمنية لحماية وقود اليورانيوم العالي التخصيب، مما يفسح المجال أمام سرقة هذه المواد أو استيلاء المجموعات الإرهابية عليها.

(1) Low-Enriched Uranium (LEU)

مخطط قنبلة(*)

إذا حصل الإرهابيون على 60 كيلوغرام من اليورانيوم العالي التخصيب فسيكون بإمكانهم عمل قنبلة نووية شبيهة بقنبلة «الصبي الصغير» التي دكّت هيروشيما في نهاية الحرب العالمية الثانية (المخطط في الأسفل) يمكن لصانعي القنبلة وضع كتلة دون الكتلة الحرجة من اليورانيوم على شكل قذيفة ووضعها في مواجهة كمية من الوقود الداسر في النهاية القصوى للأسطوانة المغلقة. ويوضع باقي اليورانيوم (ذو كتلة دون حرجة أيضا) في النهاية القصوى الأخرى لأسطوانة «البندقية». ويسبب قدح الوقود إرسال القذيفة إلى الجانب الآخر من الأسطوانة بحيث ترتطم بعنف بكتلة اليورانيوم الثانية. وهكذا يصبح مجموع الكتلتين أعلى من الكتلة الحرجة مما يحدث تفاعلا تسلسليا نوويا متفجرا



نووية، وهذا ما يكفي لصنع ما يراوح بين 150 و 200 متفجرة نووية.

تحويل المفاعلات(**)

في سبعينات القرن الماضي بدأت حكومة الولايات المتحدة الأمريكية أولا باتخاذ خطوات لمنع تحويل وقود المفاعلات البحثية التي صدّرتها خلال العقدين السابقين إلى أسلحة نووية. وبهذا الخصوص أطلقت وزارة الطاقة عام 1978 برنامج مفاعلات الأبحاث والتجارب المقلّصة التخصيب(1) لتحويل المفاعلات الأمريكية التصميم بحيث يمكنها العمل بوساطة وقود اليورانيوم المنخفض التخصيب. ومع نهاية عام 2005 تمّ تحويل 41 وحدة منها، حيث تلقّت هذه المنشآت المحوَّلة مجتمعة شحنات تصل إلى نحو 250 كيلوغرام من اليورانيوم العالي التخصيب المستعمل في القنابل من الولايات المتحدة الأمريكية كلَّ سنة.

يتمُّ حاليا استبدال أو التخطيط لاستبدال اثنين وأربعين مفاعلا إضافيا تستخدم اليورانيوم العالي التخصيب. ولسوء الحظ لن يكون ممكنا الانتقال إلى وقود اليورانيوم المنخفض التخصيب في نحو عشرة مفاعلات بحثية عالية الطاقة إلى حين تطوير أنماط جديدة من اليورانيوم المنخفض التخصيب بأداء يناسب عملها. تضمُّ هذه المفاعلات العالية الطاقة (التي تحرق حاليا نحو 400 كيلوغرام من اليورانيوم العالي التخصيب كل عام) لبًّا مدمجا مصمما بحيث تزيد إلى الحد الأعظمي من تدفق النيوترونات في تجارب **تبعثر** scaltering النيوترونات أو اختبارات المواد التي تتطلب مستويات تشعيع عالية. ولا يعمل الوقود المعتمد على اليورانيوم المنخفض التخصيب بشكل مُرض ضمن لبِّ المفاعلات المدمجة المصمَّمة أصلا لوقود اليورانيوم العالي التخصيب.

لتقليص أثر التحويل في تصاميم المفاعلات العالية الطاقة إلى أدنى حد ممكن يحتاج الباحثون في برنامج مفاعلات الأبحاث وفي التجارب المقلّصة التخصيب إلى تصنيع وقود اليورانيوم المنخفض التخصيب بالهندسة وزمن الحياة نفسهما كما في وقود اليورانيوم العالي التخصيب، ولكنَّ ذلك يشكِّل تحدّيا تقانيا كبيرا وبسبب وجود نحو أربع ذرات يورانيوم 238 مقابل كل ذرة يورانيوم 235 في اليورانيوم المنخفض التخصيب فإنَّ على مصممي وحدات الوقود زيادة كمية اليورانيوم في وحدات وقود اليورانيوم المنخفض التخصيب بنحو خمس مرات دون زيادة أبعادها. وبعد مضي سنوات من العمل، يشارف البرنامج الصغير لتطوير وقود اليورانيوم المنخفض التخصيب على التحكم في طرائق صناعة جيل جديد واعد من الوقود العالي الكثافة.

استرداد الوقود الصالح لصنع الأسلحة(***)

بدأت الولايات المتحدة في التسعينات من القرن الماضي بالتعاون مع روسيا في حماية مخزونات اليورانيوم العالي التخصيب والتخلص منها. وقد حفَّز هذا المجهود ظهور سرقات وقود اليورانيوم العالي التخصيب غير المستعمل بعد في روسيا وجمهوريات الاتحاد السوڤييتي السابق، وعادة ما كانت السرقة تسجَّل من قبَل الحكومات عند استعادة المادة فقط، ولا أحد خارج روسيا (وربما في داخلها) يعرف كمية المواد المسروقة.

وللحدِّ من كمية اليورانيوم العالي التخصيب في روسيا والتي توجد في متناول أشخاص لا صلاحية لهم في ذلك، أنشأت الولايات المتحدة عام 1999 برنامج تجميع المواد وتحويلها لحيازة نحو 17 طنا من الفائض الروسي لليورانيوم العالي التخصيب المدني ثمَّ مزجها. ومع حلول نهاية عام 2005 تمَّ تخفيف نحو سبعة أطنان إلى مستويات عشرين في المئة من محتواها من اليورانيوم 235.

ويركِّز مجهود آخر على الوقود المستنفد للمفاعل من اليورانيوم العالي التخصيب(2). وعلى الرغم من استهلاك نصف كمية اليورانيوم 235 عبر تفاعل الانشطار النووي التسلسلي داخل لبّ

Blueprint for a Bomb (*)
Convert Reactors (**)
Retrieve Weaponizable Fuel (***)
Reduced Enrichment for Research and Test Reactors (1) (RERTR) program
spent HEU reactor fuel (2)

المفاعل فإنَّ الوقود المستعمل يُنزع بعد مضي وقت معيَّن وتظل نسبة اليورانيوم 235 تشكِّل 80 في المئة من اليورانيوم المتبقي، أي التركيز ذاته لليورانيوم المستعمل في الشحنة الذرية لقنبلة هيروشيما.

يظلُّ الوقود المستنفد سنوات عديدة بعد نزعه من المفاعل في حماية ذاتية من السرقة، فهو مشعٌّ جدا بحيث إنه يميت من يحاول التعامل معه في غضون ساعة من الزمن. ويعالج الفنيون النوويون هذه المادة بوسائل التحكُّم عن بعد فحسب وهم يحمون أنفسهم بدروع سميكة، حيث تقلُّ شدة خطر الإشعاع مع الزمن. فبعد نحو 25 سنة تحدث الجرعة المميتة، التي تصيب شخصا يتعامل عن قرب مع كتلة من وقود مفاعل بحثي تبلغ نحو خمسة كيلوغرام، في غضون خمس ساعات عند نصف عدد الأشخاص المعرَّضين للإشعاع. وعند هذه المرحلة يقرُّ الخبراء، الذين يوصون وكالة الطاقة الذرية الدولية، بأنَّه لا يمكن اعتبار الوقود ذاتي الحماية.

حاجة متعاظمة بصورة ملحَّة(*)

للتغلب على خطر وقود اليورانيوم المستنفد ذي التخصيب العالي في أنحاء العالم، الذي تقلُّ حمايته الذاتية بمرور الوقت، دعت الولايات المتحدة الأمريكية عام 1996 الدول الأجنبية التي تلقَّت اليورانيوم العالي التخصيب الأمريكي إلى استعادة نوعين من الوقود المستنفد. وبعد ست سنوات توحَّدت جهود الولايات المتحدة وروسيا مع وكالة الطاقة الذرية الدولية لإرجاع شحن وقود اليورانيوم العالي التخصيب الصالح والمستنفد إلى روسيا. ولكنَّ التقدم في هذا المجال مازال متواضعا. فقد أعيد الوقود المستنفد الذي يحتوي على نحو طنٍّ واحد من اليورانيوم العالي التخصيب الأمريكي في حين يظل نحو عشرة أطنان خارج الولايات المتحدة الأمريكية. كما أعيدت مئة كيلوغرام من وقود اليورانيوم العالي التخصيب الصالح لروسيا، وبقي نحو طنَّين من اليورانيوم العالي التخصيب من الوقود الصالح أو المستنفد من أصل روسي مخزونا عند دول مختلفة، حيث يُخزن وقود المفاعلات البحثية المستنفد الذي أعيد في منشآت وكالة الطاقة الأمريكية في ولايتي كارولاينا الجنوبية و إيداهو، في حين تفصل روسيا اليورانيوم العالي التخصيب من الوقود المستنفد ثمَّ تمزجه لتشكيل الوقود المنخفض التخصيب الصالح للاستعمال في محطات الطاقة النووية.

بعد أحداث 2001/9/11 كثَّف بعض الهيئات غير الحكومية وعدد من أعضاء مجلس الشيوخ الأمريكي من ضغوطهم على وكالة الطاقة الأمريكية لكي تضاعف من جهودها في حماية مخزون اليورانيوم العالي التخصيب المدني عبر العالم. وقد حذَّر <B. Th> تايلور> [مصمم الأسلحة السابق في مختبر لوس آلاموس الوطني (الأمريكي)] من خطر الإرهاب النووي في بداية السبعينات من القرن الماضي. ولكنَّ مأساة الحادي عشر من أيلول (سبتمبر) قد زادت بشكل كبير من مصداقية ندائه

ما يحتاج إليه الإرهابيون النوويون(**)

لصنع أسلحة نووية، يجب على الإرهابيين أولا شراء مصدر لليورانيوم العالي التخصيب أو سرقته. ويتوافر اليورانيوم في الطبيعة من نظير اليورانيوم 238 أساسا (وهو لا يغذي تفاعل الانشطار التسلسلي عندما يمتص نيوترونا) ونسبة ضئيلة جدا (نحو 0.7 في المئة) من نظير اليورانيوم 235 الذي يغذي تفاعل الانشطار التسلسلي، حيث يختلف النظيران في الوزن بنحو واحد في المئة. ويمكن للمهندسين استغلال هذه الخاصة لفصل أحدهما عن الآخر وتركيز (أي تخصيب) اليورانيوم 235، ولكن لا يمكن للإرهابيين إجراء هذه العمليات بأنفسهم لأنَّ جميع الطرائق المعروفة صعبة ومكلفة جدا وتحتاج إلى وقت طويل.

في كتلة دون حرجة بالكاد من اليورانيوم العالي التخصيب سيسبب نيوترون واحد (في المتوسط) من النيوترونين أو الثلاثة المنطلقة عن نوى اليورانيوم 235 حدوث انشطار نواة أخرى. وستنفذ معظم النيوترونات الباقية عبر سطح المادة ولا يحدث أيُّ انفجار. لتحقيق قنبلة من نمط البندقية يحتاج المهندسون إلى كتلتين حرجتين على الأقل بحيث يسبب انشطار واحد حدوث أكثر من انشطار بعده (في المتوسط). وهذا ما يولِّد تفاعلا تسلسليا انفجاريا يتعاظم بشكل أسِّي مثل التفاعل الذي حرر الطاقة من قنبلة هيروشيما في غضون جزء من مليون من الثانية.



أقراص سهلة التداول يحتوي كلٌّ منها على كمية صغيرة من اليورانيوم الصالح لصنع القنابل، وهي تستعمل بعشرات الآلاف في إحدى المنشآت الروسية الحيوية. يتطلَّب صنع القنبلة الذرية الكثير من هذه الأقراص، ولكنَّ سهولة حملها جعلت حمايتها من الاختلاس كابوسا أمنيا مستمرا.

وتكفي كتلة تقلُّ عن الكتلة الحرجة لإنتاج قنبلة ناكازاكي من النمط التقوُّضي(1). وفي هذا التصميم تُنقل كتلة البلوتونيوم إلى الحد فوق الحرج عبر ضغطها باستعمال عبوات متفجرة تغلِّفها. يقلِّص هذا التقوض من الفراغات بين النوى التي يمكن للنيوترونات النفاذ من خلالها دون إحداث انشطارات.

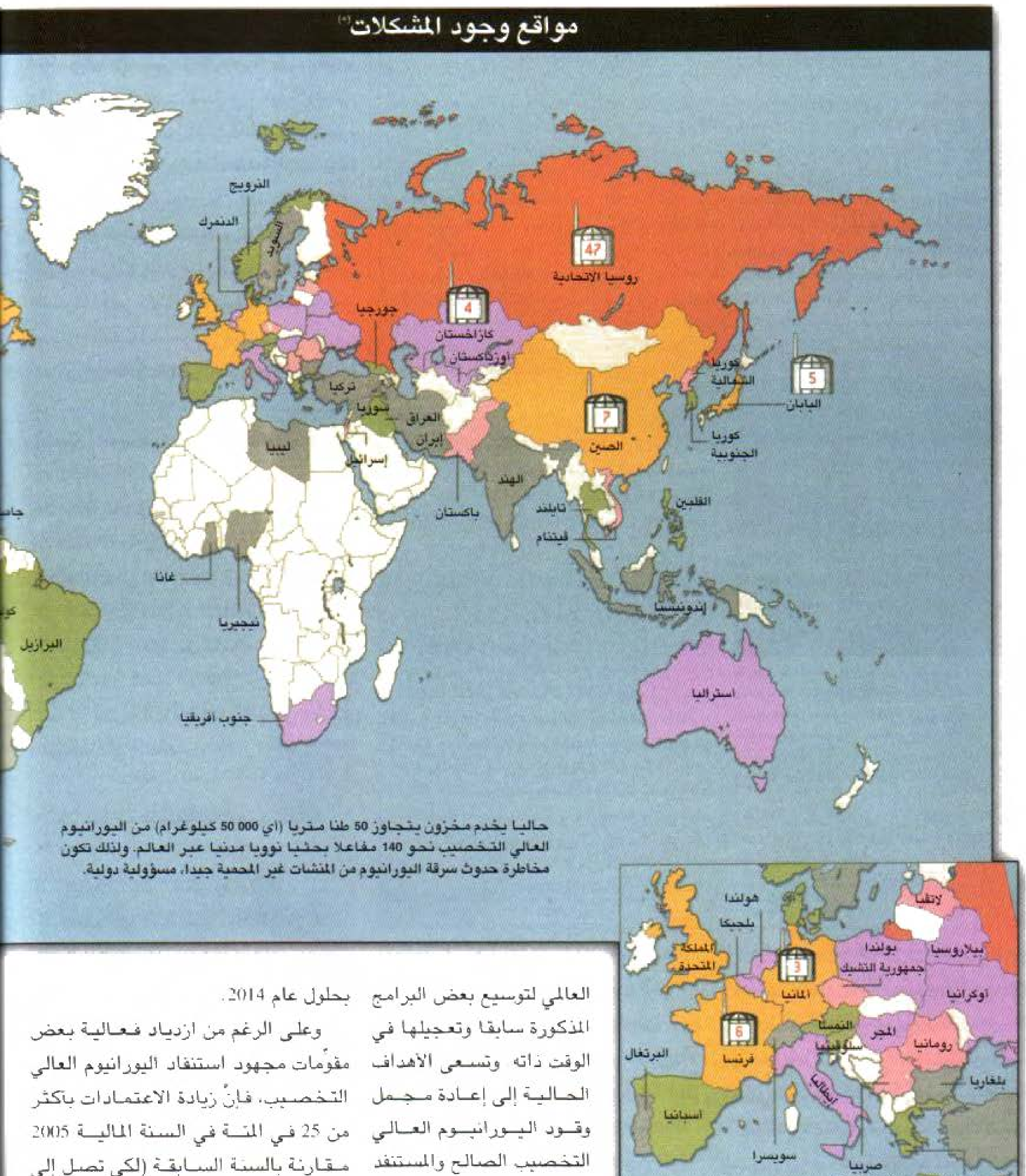
يحتوي يورانيوم القنابل على نحو 90 في المئة أو أكثر من اليورانيوم 235 (أي النواة الانشطارية Fissile)، ولكنَّ الخبراء أوصوا وكالة الطاقة الذرية الدولية أنَّ مجمل أنواع اليورانيوم العالي التخصيب (أيّ خليط يورانيوم يتجاوز فيه اليورانيوم 235 نسبة 20 في المئة) يجب اعتباره «مادة للاستخدام المباشر»، بمعنى أنها صالحة للاستخدام في أسلحة نووية. أمَّا دون هذه النسبة فإن الكتلة الحرجة تصير كبيرة جدا بحيث لا يمكن وضعها في رأس نووي ذي حجم معقول. على سبيل المثال، لإنتاج كتلة حرجة باستعمال يورانيوم مخصب بنسبة 93 في المئة محاط بطبقة بريليوم سماكتها خمسة سنتيمترات لعكس النيوترونات نحتاج إلى 22 كيلوغرام، في حين أننا نحتاج إلى نحو 400 كيلوغرام إذا ما استعملنا اليورانيوم المخصَّب بنسبة 20 في المئة.

Growing urgency (*)

What Nuclear Terrorists Would Need (**)

(1) التقوض Implosion هو تهدم الشيء على نفسه. (التحرير)

مواقع وجود المشكلات(*)



حاليا يخدم مخزون يتجاوز 50 طنا متريا (أي 000 50 كيلوغرام) من اليورانيوم العالي التخصيب نحو 140 مفاعلا بحثيا نوويا مدنيا عبر العالم. ولذلك تكون مخاطرة حدوث سرقة اليورانيوم من المنشآت غير المحمية جيدا، مسؤولية دولية.

للتحرك في هذا المضمار، كما تزايدت النداءات من أجل «استنفاد شامل» لليورانيوم العالي التخصيب غير العسكري. وكردٍّ على ذلك أطلقت وكالة الطاقة الأمريكية مبادرة الحد من التهديد العالمي لتوسيع بعض البرامج المذكورة سابقا وتعجيلها في الوقت ذاته وتسعى الأهداف الحالية إلى إعادة مجمل وقود اليورانيوم العالي التخصيب الصالح والمستنفد من منشأ روسي بحلول نهاية عامي 2006 و 2010 على التوالي، وإعادة مجمل وقود اليورانيوم العالي التخصيب من منشأ أمريكي بحلول عام 2019. ويتصور المخطط أيضا تحويل جميع مفاعلات الأبحاث المدنية الأمريكية إلى وقود يورانيوم منخفض التخصيب بحلول عام 2014.

وعلى الرغم من ازدياد فعالية بعض مقوِّمات مجهود استنفاد اليورانيوم العالي التخصيب، فإنَّ زيادة الاعتمادات بأكثر من 25 في المئة في السنة المالية 2005 مقارنة بالسنة السابقة (لكي تصل إلى نحو 70 مليون دولار أمريكي) أبقت حجم البرنامج ضئيلا مقارنة بالبرامج التي كلَّفت عدة بلايين من الدولارات لإنشاء منظومة الدفاع الصاروخي وتعزيز قدرات الأمن الوطني وعلى النقيض من المنطق السليم، يمكن أن تعلِّل التكلفة الزهيدة

(*) Where Troublee Lies

الدول التي تمتلك اليورانيوم العالي التخصيب المدني
أكثر من 000 10 كيلوغرام
من 1000 إلى 000 10 كيلوغرام
من 100 إلى 1000 كيلوغرام
من 10 إلى 100 كيلوغرام
من 1 إلى 10 كيلوغرام
أقل من 1 كيلوغرام (تخلصت من اليورانيوم العالي التخصيب)
لم تمتلك أبدا مقدارا مهما من اليورانيوم العالي التخصيب
مفاعلات بحثية عاملة مغذاة باليورانيوم العالي التخصيب (الدول الثمان الأكثر عدداً، العدد تقديري)

لمشروع التخلص من اليورانيوم العالي التخصيب جزئيا بسبب عدم وجود من يدافع عنه في أية إدارة رئاسية ووجود قليل من متعهّديه في مجلس الشيوخ. فالإداريون في وزارة الطاقة ورؤساء اللجان الفرعية للموافقة على البرامج في مجلس الشيوخ ينفقون جلّ وقتهم في السعي وراء البرامج الميزانية العالية.

أمّا الوضع في روسيا فهو أسوأ كثيرا، إذ تبدو حكومتها غير معنية نسبيا بخطر حيازة الإرهابيين موادَّ نووية متفجرة. وقد توجهت الآن لتعهُّد تحويل مفاعلاتها البحثية إلى وقود اليورانيوم المنخفض التخصيب. ولسوء الحظ تراجع الرئيس «جورج دبليو بوش» مؤخرا عن الضغط على روسيا لحثها على المضي قدما في هذا المضمار. وقد اتفق في لقاء القمة في الشهر 2005/2 مع الرئيس الروسي «ڤلاديمير پوتين» على الحدّ من التعاون الأمريكي الروسي في جهود استنفاد اليورانيوم العالي التخصيب في البلدان الأخرى، إذ تزايدت ممانعة الإدارة الروسية لبرامج تفوِّض زيارات أجانب للمنشآت النووية الروسية، خصوصا إذا كانت هذه المبادرات لا تقدم مبالغ ضخمة لروسيا.

وهكذا فإنّ مشاريع استنفاد اليورانيوم العالي التخصيب التي لاتزال نشيطة في روسيا تستعمل مقاربة «من الأسفل نحو الأعلى»، حيث يتفاوض ممثلوها مباشرة مع المعاهد النووية الروسية على الصعيد المحلي واحدا إثر الآخر، تاركين للمعاهد مهمة الحصول على إذن حكومتهم. ولحسن الطالع يمكن أن تكون معونة مليون دولار غير مهمة بالنسبة للدولة الروسية ولكنها تعني الشيء الكثير بالنسبة لمعهد نووي مختنق ماديا. ولذلك فإن عددا من هذه المشاريع في تقدم مستمر.

مصادر مهملة لوقود يورانيوم عالي التخصيب(*)

توجَّه المجهودات الحالية لتحويل وقود اليورانيوم العالي التخصيب أساسا إلى مفاعلات الأبحاث المغذاة باليورانيوم العالي التخصيب التي تحتاج إلى إعادة تغذية بالوقود. وهي تتجاهل بدرجة كبيرة التراكيب الحرجة والمفاعلات النبضية، وهما نمطان آخران من المفاعلات البحثية التي يحتوي لبُّها تراكميا على كميات ضخمة من المواد الخطرة.

إنّ التركيب الحرج هو نموذج فيزيائي حقيقي للبِّ مفاعل جديد يختبر ما إذا كان تصميم اللب سيحفظ استدامة تفاعل انشطاري متسلسل أو أنه يعمل عند الحالات الحرجة كما أراده المهندسون. ولما كانت هذه التراكيب محدودة بتوليد نحو مئة واط من الحرارة فحسب فإنها لا تتطلب منظومات تبريد، ويمكن للمهندسين بناؤها ببساطة عبر مراكمة وقود ومواد أخرى.

وقد صادف أحدنا (فون هيپل) هذا التركيب لأول مرة عام 1994 عندما جال (كأحد مسؤولي البيت الأبيض) في معهد كورتشاتوف Kurchatov (وهو مركز أبحاث للطاقة الذرية في موسكو) مع خبراء أمن المواد النووية والإحصاء الأمريكيين. وهناك في مبنى تحت الأرض وُضع نحو 70 كيلوغرام من أقراص اليورانيوم النقي تقريبا والصالح لصنع القنبلة فيما يشبه خزانة مدرسية. وقد كان اليورانيوم 235 مخصصا لنموذج حرج لمفاعل فضائي. وهذه الزيارة أدت إلى أول تحسين لحماية المنشآت النووية الروسية. ومؤخرا بدأ معهد كورتشاتوف ووزارة الطاقة الأمريكية النقاش حول مشروع مشترك بينهما للتخلص من وقود اليورانيوم العالي التخصيب في العديد من منشآت المعهد التي تضم أنماط التراكيب الحرجة.

وهناك موقع آخر مماثل عبارة عن منشأة تركيب حرج في معهد روسيا للفيزياء وهندسة الطاقة في مدينة أوبنينسك Obninsk. ولعل في هذه المنشأة أكبر مخزون من اليورانيوم العالي التخصيب في أي موقع للمفاعلات البحثية في العالم، وهو 8.7 طن. وهي في معظمها متوافرة في عشرات الآلاف من الأقراص المغطاة بالألمنيوم والفولاذ المقاوم للصدأ. يبلغ قطرها نحو بوصتين [*انظر الشكل في الصفحة 49*]. يضع الفنيون الأقراص في أعمدة تفصل بينها أقراص أخرى من اليورانيوم المنضب(1) لكي تحاكي مختلف مستويات معدل تخصيب الوقود. ولما كانت هذه العناصر لا تصدر إلا مستويات

(*) Neglected HEU Sources
(1) depleted uranium

إيقاف سرقة المواد النووية[*]

تحتاج الدول في سعيها للتخلص من مخزونات اليورانيوم العالي التخصيب لإحباط صنع أسلحة نووية من قبل المجموعات الإرهابية إلى حماية أفضل لفاعلاتها النووية المدنية التي تستعمل هذا الوقود. ويجري تنفيذ إحدى الطرائق عبر التعاون بين الخبراء الأمريكيين والروس على المنشآت الروسية باعتبارها مثلا لأنواع المراحل التي يمكن اتباعها والمشكلات التي تواجهها هذه البرامج.

أصبحت الحاجة إلى حماية متطورة أمرا جليا عام 1992، عندما سرق مهندس في منشأة نووية تقع قرب موسكو نحو كيلوغرام ونصف الكيلوغرام من اليورانيوم العالي التخصيب بكميات صغيرة على مرات عديدة خلال عدة أشهر أملا في التربح من بيعها. ولحسن الحظ تمّ القبض على الجاني قبل انتقال اليورانيوم لدولة شريرة أو لإرهابيين، وبالطبع كان من الممكن أن تكون نتائج السرقة أسوأ بكثير من ذلك، إذ يكفي نحو 25 كيلوغرام من اليورانيوم لصنع بعض أنواع المتفجرات النووية وفق تقديرات وكالة الطاقة الذرية.

يعكس حادث الاختلاس، بعيدا أن يشكلّ ذلك استثناء، حالة عامة من انعدام الأمن. لقد ترك انهيار الاتحاد السوفييتي عام 1991 منشآته النووية عرضة لتهديدات من الداخل ومن الخارج. لقد ظل الباحثون والمهندسون والحراس عدة شهور بدون رواتب في فترة سابقة ساءت بنية منظومة الإدارة فيها، وهذا ما أدّى إلى قلق كبير حول إمكان سرقة المادة النووية. وقد فهم قادة روسيا والولايات المتحدة الأمريكية ودولٍ أخرى المخاطر التي تنطوي عليها المواد غير المحمية ووضعوا برامج تعاون للحدّ من هذه المخاطر.

كان برنامج مراقبة المواد النووية وإحصائها (MPC & A)[1] الذي أسس في عام 1993 هو أحد هذه الجهود. وكأحد أطراف البرنامج، عملت المختبرات التابعة لوزارة الطاقة الأمريكية مع المنظمات النووية في روسيا الاتحادية. وتشمل المنشآت التي خضعت للتحديث مختبرات أبحاث مدنية، ومحطات مفاعلات ذوات دائرة وقود نووية، ومنشآت أبحاث وإنتاج للمواد النووية العسكرية، ومجمّعات خزن الأسلحة النووية. وقد قدم الموظفون الأمريكيون المشورة للخبراء الروس وسهّلوا من عملهم، ثمّ تابع الروس تحقيق التحديثات اللاحقة التي استدعت إعمار منشآت وحيازة أجهزة وتعديل الإجراءات المتبعة. وتعاون الأمريكيون والروس أيضا في تحسين تنظيم المواد النووية ومعايير العمل وأساليب التدريب وإجراء الجرد.

وفي بعض الحالات، تمّ إنجاز بعض المراحل الجزئية سريعا لحين إنشاء تغيُرات أكثر شمولاً. فعلى سبيل المثال، يمكن للفنيين إبدال باب عادي بنظام باب مزدوج يعمل بمثابة حاجز. ويمكنهم لاحقا تركيب منظومة دارة تلفزيونية مغلقة للمراقبة ولفحص التهديدات في حالِ حدوثها. ومن أجل مراقبة المواد، يمكن للمديرين سنّ قانون فورا يقضي بأنّ كلّ تعامل مع المادة النووية يجب أن يتم عبر شخصين يعملان معا. وبعد ذلك يمكن للفنيين وضع منظومة مؤتمتة للتحكم في الدخول تتطلب بطاقات تعريفية خاصة وكلمات دخول سرية وتحققا من الأشخاص باستعمال **الإحصائيات البيولوجية** Biometrics. لجرد وإحصاء كمية المواد، يمكن أن يضمّ تطوير سريع على جدولة عمليات جرد منتظمة لحاويات المواد النووية المصدّقة بأقفال محكمة. وسيكون الإجراء الأوسع هو إدخال محطات قياس يتحكّم فيها الحاسوب تحلّل (عبر أشعة كاما الصادرة عن الحاويات) مستويات تخصيب للمواد النووية في داخلها، وستدخل النتائج أوتوماتيكيا في قاعدة بيانات حاسوبية تشير إلى ظهور أيّ خلل.

وقد شهدت السنوات الاثنتي عشرة للتعاون الأمريكي الروسي في هذا البرنامج تقدما ملحوظا، فقد أُكملت التحديثات في 41 من 51 موقعا معروفا للمواد النووية في روسيا ودول أخرى في الاتحاد السوفييتي السابق، بما فيها مجمّعات الأسلحة والمنشآت المدنية (وهذا ما تركز عليه المقالة) ومستودعات خزن الوقود النووي عند الأسطول البحري. كما تستمر عمليات التطوير في ثمانية مواقع من العشرة الباقية. ولا توجد أيّة اتفاقية للعمل في الموقعين الآخرين اللذين يعدّان منشأتين روسيتين حسّاستين جدا. وفي الوقت نفسه تستمر جهود التحديث بالاستعانة ببرنامج مراقبة حماية المواد النووية وإحصائها في مخزون الرؤوس النووية ومواقع الصواريخ الاستراتيجية في دول الاتحاد السوفييتي السابق.

يشكل الدعم الطويل الأمد التحدي الرئيسي في المستقبل، إذ يتوقع تناقص الدعم الأمريكي لهذا البرنامج في غضون السنوات القليلة القادمة تاركا الروس يتحملون العبء بمفردهم. ومع أنّ الحكومة الروسية تجري عملية مستقلة لحماية برنامج مراقبة المواد النووية وإحصائها، فإنّ الأجهزة والإجراءات في كثير من المواقع ستسوء إذا انتهى برنامج التعاون. وإنّ استمرار برنامج مراقبة حماية المواد النووية وإحصائها هو أمر حيوي لأمن الولايات المتحدة، فبكل بساطة يمكن القول إنّ عواقب نقص ملحوظ في حماية اليورانيوم العالي التخصيب يمكن أن تكون وخيمة.





إن الإجراءات الأمنية في كثير من مواقع مفاعلات الأبحاث في الاتحاد السوفييتي السابق لا تكفل حماية اليورانيوم المخصب من السرقة. ويتعاون المختصون الأمريكيون والروس لتدعيم الإجراءات الأمنية. وقد لاحظ المفتشون أن الأسوار والأبواب على المحيط الأمني وغيرها للمنشآت غير كافية أو أنها بحاجة سريعة إلى الإصلاح (*الصورة العليا*). ومنذ أن تم تحسين حالة هذه المنشآت، صارت نظم الحواجز منيعة أكثر أمام المقتحمين (*الصورة السفلى*).

المؤلفة

Leslie G. Fishbone

تعمل في مجال الحدّ من انتشار الأسلحة النووية في قسم الأمن الوطني بمختبر بروكلين الوطني، وقد عملت في برنامج مراقبة حماية المواد النووية طوال فترة تجاوزت العشر سنوات.

منخفضة من الإشعاع فيمكن للفنيين تكديسها باليد. ولكنّ التأكد من عدم خروج أحد ومعه قرص منها يبقى هاجسا أمنيا. وقد قمنا مؤخرا بدراسة تحليلية أقنعت مدير المنشأة بأنّ المختبر لا يحتاج إلى اليورانيوم الذي يصلح لصنع القنابل، كما أن المسؤولين في وزارة الطاقة الأمريكية مهتمون بإقامة مشروع مشترك للاستغناء عن هذه المواد.

أما المستهلكون الآخرون الأقل شأنا في استخدام وقود اليورانيوم العالي التخصيب في المفاعلات النبضية فإنهم يعملون بصورة نموذجية عند مستويات طاقية عالية لفترات لاتتجاوز عدة أجزاء من الألف من الثانية. وتستعمل مختبرات الأسلحة المفاعلات النبضية عادة لتقييم استجابات المواد والأدوات لتدفقات شديدة وقصيرة من النيوترونات مثل تلك التي تولدها الانفجارات النووية. وتطرح هذه المنظومات مشكلة أمنية شبيهة بالتراكيب الحرجة لأنّ وقودها أيضا مشع بنحو ضئيل فحسب. ويحتوي المفاعل النبضي الموجود في المعهد الروسي للأبحاث العلمية في الفيزياء التجريبية (وهو المختبر الأول لتصميم الأسلحة النووية في روسيا).

(*) Halting the theft of nuclear materials

(1) The Material Protection Control and Accounting (MPC A) program

ويقع على مسافة 400 كم إلى الشرق من موسكو) على 0.8 طن من اليورانيوم العالي التخصيب (وهذا ما يكفي لصنع 15 قنبلة هيروشيما) وبعد الاستماع إلى محاضرة أحدنا («فون هيبل») عن خطر اليورانيوم العالي التخصيب اقترح الباحثون في المعهد دراسة جدوى تحويل المفاعل إلى اليورانيوم المنخفض التخصيب.

وعلى الرغم من وجود ما يزيد على 70 مفاعلا نبضيا وذا تركيب حرج عبر العالم (ما يزيد على نصف هذا العدد في روسيا) فإنه يلزم القليل منها لإجراء الأبحاث في الوقت الراهن. فقد بني معظمها في الستينات والسبعينات من القرن الماضي وأصبحت اليوم من الطراز القديم فنيا. ويمكن تحقيق الكثير من مهامّها عبر محاكاة حاسوبية عادية لحساب تطور التفاعلات التسلسلية النووية التي تحدث في نماذج مفصّلة ثلاثية الأبعاد للمفاعل. ويمكن للمهندسين التثبت من صحة هذه المحاكاة الرياضياتية بمقارنتها مع النتائج المحفوظة لتجارب الحدّ الحرج السابقة. ويمكن لعدد قليل من المنشآت المتعددة الأغراض التي تستعمل وقود اليورانيوم العالي التخصيب أن تظلّ قيد الاستعمال لسدّ ثغرات التجارب السابقة. وبوسع المهندسين تحويل عدد قليل من المفاعلات النبضية ذوات الوقود المنخفض التخصيب لاحتمال الحاجة إليها.

وبشكل عام قدّر أحد مختصي وكالة الطاقة الذرية الدولية (IAEA) أنّ أكثر من 85 في المئة من مجموع المفاعلات البحثية المتقادمة في العالم ستحال إلى التقاعد. وقد لاحظ أنّه يمكن تلبية الخدمات التي تؤديها بنحو أفضل من خلال عدد من المنابع النيوترونية المحلية باستخدام أحدث التقانات المتوافرة. ولإغراء الباحثين الذين يستعملون هذه المفاعلات يمكن لبرنامج الإحالة إلى التقاعد أن يستثمر في الوقت ذاته في زيادة قدرات مراكز المفاعلات البحثية المتبقية. ويمكن أن تحذو الدول الأوروبية واليابان حذو الولايات المتحدة الأمريكية. وفي الحقيقة يمكن أن يؤمّن هذا التقارب مصدرا ماليا للمعاهد التي تملك المفاعلات لإجراء جرد واسع لليورانيوم العالي التخصيب المشع بشكل قليل، إذ يمكن أن تجلب هذه المخزونات لها نحو 20 مليون دولار لكلّ طن من اليورانيوم العالي التخصيب بعد تخفيفه إلى اليورانيوم المنخفض التخصيب الآمن المستعمل في وقود محطات الطاقة النووية.

نحو الحل[*]

طالت الجهود لتحويل المفاعلات التي تستعمل وقود اليورانيوم العالي التخصيب لأكثر من ربع قرن. ولا يتعلق استعمال اليورانيوم العالي التخصيب بأسباب تقانية. فقد نتج هذا التقصير أساسا من قلة الدعم الحكومي على المستوى الرفيع بشكل كاف، كما تسببت ممانعة فنيي المفاعلات الذين يخشون التسريح أو تعليق العمل في التأخر أيضا.

على الرغم من القلق الحالي من الإرهاب النووي فإنّ معظم مراحل برنامج استنفاد اليورانيوم العالي التخصيب تسير ببطء شديد. وتحتاج الحكومات إلى زيادة المخصصات المالية لتعجيل تحويل المفاعلات التي يتوافر لها البديل من اليورانيوم المنخفض التخصيب، وللتأكد من أنّ مقوّمات الوقود البديل قد طوّرت بحيث يتمّ استبدال المفاعلات المتبقية. إضافة إلى ذلك يجب توسيع البرنامج بحيث يشمل جميع التركيبات الحرجة المغذاة باليورانيوم العالي التخصيب والمفاعلات النبضية والعدد الصغير من المستعملين المدنيين لوقود اليورانيوم العالي التخصيب مثل كاسحات الجليد الروسية المسيّرة بالطاقة النووية.

وإذا أخذت الولايات المتحدة الأمريكية وحلفاؤها موضوع تحدي منع الإرهاب النووي مأخذ الجدّ فإنه يمكن الانتهاء من اليورانيوم العالي التخصيب المدني في غضون خمس إلى ثماني سنوات. في حين أنّ استمرار التأخر في إتمام هذه المهمة لن يزيد سوى من فسحة ظهور الإرهاب النووي. ■

(*) Toward a Solution

المؤلفان

Alexander Glaser - Frank N.VON Hippel

زميلان في برنامج للعلم والأمن العالمي في جامعة برينستون. «كلازر» عضو في هيئة الأبحاث. وقد حصل على الدكتوراه في الفيزياء، مؤخرا من جامعة درمشتادت للتقانة في ألمانيا، حيث درس الحواجز التقانية في تحويل مفاعلات الأبحاث النووية. وأصبح «هيبل» فيزيائيا نوويا نظريا عبر التدريب المستمر، وهو أحد مديري هذا البرنامج وأستاذ العلاقات العامة والدولية. وأثناء عمله مساعدا لمدير الأمن القومي في مكتب البيت الأبيض لشؤون العلم والتقانة في عامي 1993 و 1994 ساعد «هيبل» على الترويج للجهود الأمريكية في تحسين حماية المواد النووية في الاتحاد السوفييتي السابق. وكلاهما يعملان في الهيئة الاستشارية العالمية للمواد الانشطارية التي تحاول إنهاء استعمال اليورانيوم والبلوتونيوم العاليي التخصيب.

مراجع للاستزادة

Controlling Nuclear Warheads and Materials. Matthew Bunn, Anthony Wier and John P. Holdren. Nuclear Threat Initiative and the Project on Managing the Atom, Harvard University, March 2003. Available at www.nti.org/e_research/cnwm/overview/cnwm_home.asp

A Comprehensive Approach to Elimination of Highly-Enriched-Uranium from All Nuclear-Reactor Fuel Cycles. Frank von Hippel in *Science and Global Security*, Vol. 12, No. 3, pages 137–164; 2004. Available at www.princeton.edu/~globsec/publications/pdf/von_Hippel_SGS_137-164_1.pdf

The Four Faces of Nuclear Terrorism. Charles D. Ferguson and William C. Potter. Routledge (Taylor and Francis), 2005.

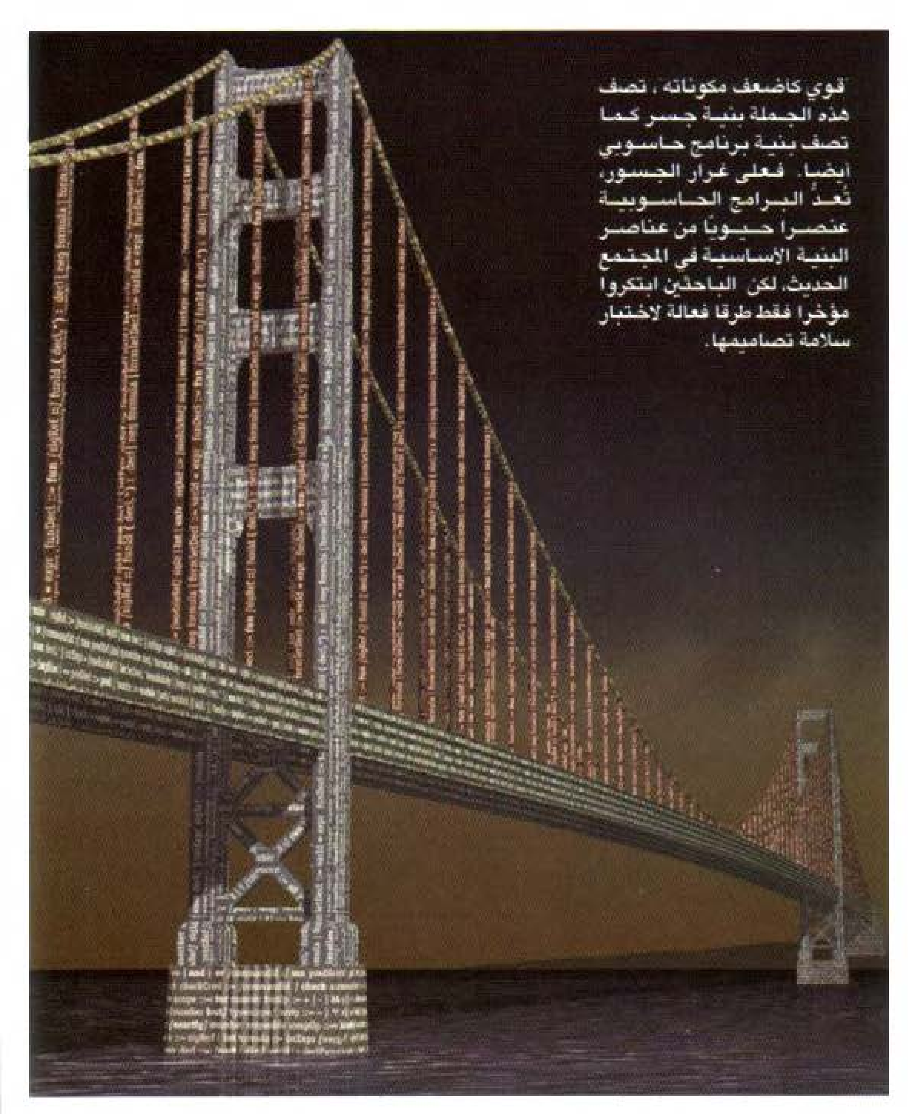
Last Best Chance. Docudrama produced by the Nuclear Threat Initiative on the danger of nuclear terrorism, 2005. Free DVDs can be ordered at www.lastbestchance.org/

Scientific American, February 2006

برمجيات تُصمَّم بحيث يُعوَّل عليها(*)

تقود الحواسيب الطائرات وتُشغِّل معظم منظومات المصارف والاتصالات والتجارة والصناعة في العالم. والآن فإن أدوات تحليل قوية ستساعد في نهاية المطاف مهندسي البرمجيات على ضمان وثوقية تصاميمهم.

<D. جاكسون>



قوي كاضعف مكوناته، تصف هذه الجملة بنية جسر كما تصف بنية برنامج حاسوبي أيضا. فعلى غرار الجسور، تُعدُّ البرامج الحاسوبية عنصرا حيويا من عناصر البنية الأساسية في المجتمع الحديث، لكن الباحثين ابتكروا مؤخرا فقط طرقا فعالة لاختبار سلامة تصاميمها.

حين افتُتح مطار دنفر الدولي الجديد، قبل 11 عاما، كان من المؤمل أن يشكل نظام أمتعة المسافرين المؤتمت جوهرة الإنجازات العالية التقانة التي ضمَّها. فقد صُمِّم هذا النظام بحيث تنتقل الأمتعة على سيور (أحزمة) يبلغ طولها نحو 26 ميلا، لإيصالها بسرعة ودون انقطاع إلى الطائرات والمسافرين. لكن مشكلات البرمجيات أثقلت كاهل النظام، فأخَّرت افتتاح المطار 16 شهرا وأضافت مئات ملايين الدولارات إلى تكاليف إنشائه. ولم يعمل النظام على نحو يسمح بالركون إليه على الرغم من سنين كثيرة صرفت في إصلاحه. وفي صيف عام 2006، قام مديرو المطار أخيرا بإيقاف النظام والعودة إلى حاويات الحقائب التقليدية التي تُحمَّل يدويا وتجرها عربات يقودها البشر. أما الشركة BAE Automated Systems [التي صممت نظام نقل الأمتعة المؤتمت]، فقد صُفِّيت وأفلست شركة الخطوط الجوية United Airlines المستخدمةُ الرئيسية للنظام، وكانت مشكلات هذا النظام أحد أسباب إفلاسها.

والثمن الباهظ لتصميم رديء للبرمجيات تدفعه الملايينُ من المستخدمين المُحبَطين يوميا. وتتضمن أمثلة شنيعة أخرى كوارث مكلفة عانتها مشاريع **مصلحة الضرائب الداخلية الأمريكية** U.S. Internal Revenue Service (كالمشروع الفاشل لتحديث أعمال المصلحة الذي بلغت قيمته 4 بلايين دولار في عام 1997، والذي تبعه مشروع تحديث آخر بلغت كلفته 8 بلايين دولار، عانى قدرا مساويا من المشكلات)؛ ومكتب التحقيقات الاتحادي (كمشروع نظام إدارة ملف الدعاوى الافتراضي الذي ألغي عام 2005 بعدما كلَّف 170 مليون دولار)؛ وإدارة الطيران الاتحادية (كالمحاولة البطيئة، التي لم تحرز أي نجاح حتى الآن، لتجديد منظومتها المتقادمة للتحكم في حركة المرور الجوية).

تحصل هذه الإخفاقات الهائلة لأن عيوبا جوهرية في التصميم تُكتشف متأخرة جدا. ففقط بعد بدء المبرمجين بكتابة **الكود** code ـ أي التعليمات التي يستخدمها الحاسوب لتنفيذ برنامج ما ـ يكتشفون أن تصاميمهم غير ملائمة. ويكمن الخلل أحيانا في عدم توافق التعليمات ضمن الكود أو غياب مميت لأحدها. لكن في معظم الأحيان يعود الخلل

(*) DEPENDABLE SOFTWARE BY DESIGN



نظام الأمتعة المؤتمت الذي أخفق في مطار دنفر الدولي.

> يمكن رد جميع مشكلات البرمجيات القاتلة إلى أخطاء مفاهيمية ارتُكبت قبل البدء بالبرمجة

إلى أن التصميم برمّته ضبابيّ ولم يستوف حقه من الدراسة. ومع تنامي الكود، بسبب تعديلات تضاف إليه بالتقسيط، تبرز بنية تفصيلية فعلا للتصميم الأصليّ، لكن التصميم الناتج يكون ممتلئا بالحيل والحالات الخاصة، دون مبادئ متوافقة. وكما هي الحال في المباني، فعندما لا تكون أسس البرمجيات سليمة، تفتقر البنية الناجمة إلى الاستقرار.

يمكن للمديرين المتورطين في إخفاقات بارزة للبرمجيات الدفاع عن أنفسهم مدعين أنهم قد اتبعوا الممارسات المعتَمَدة في صناعة البرمجيات. ومن سوء الطالع، أنهم سيكونون محقين في ادعاءاتهم هذه. فالمطوّرون نادرا ما يوضحون تصاميمهم بدقة ويحلّلونها للتأكد بأنها تجسّد الخصائص المرغوبة. لكن بعد أن أصبحت الحواسيب تقود الطائرات والقطارات والسيارات، وتُشغّل معظم مرافق المال والاتصالات والتجارة والإنتاج في العالم، فقد صار المجتمع في أمسّ الحاجة إلى تحسين اعتمادية البرمجيات.

لكن جيلا جديدا من أدوات تصميم البرمجيات يبرز الآن إلى الوجود [*انظر الإطار في الصفحة 59*]. وتشبه محركات التحليل المستخدمة في هذه الأدوات، من حيث المبدأ، تلك التي يستخدمها المهندسون بصورة متزايدة لتدقيق تصاميم العتاد الحاسوبي. فيُنَمْذِج المطوّر تصميم البرنامج باستخدام **مدوّنة كودية** coding notation مقتضبة رفيعة المستوى، ثم يشغّل أداةً تستكشف بلايين التنفيذات الممكنة للمنظومة باحثة عن أوضاع غير مألوفة يمكن أن تجعل المنظومة تتصرف بطريقة غير متوقعة. تكشف هذه العملية عيوبا خفيّة في التصميم، حتى قبل كتابة كوده، والأهم من ذلك، أنها توفر تصميما دقيقا ومنيعا ومختبرا بالتفصيل. وأحد الأمثلة على هذه الأداة «ألُويْ» Alloy التي بنيتُها مع مجموعة البحث التي تعمل معي. وقد أثبتت الأداة ألُويْ (المتاحة مجانا على الإنترنت) فائدتها في تطبيقات متفاوتة في تنوعها تفاوت برمجيات الطيران والهاتف ونظم التعمية، وتصميم الآلات المستخدَمة في علاج السرطان [*انظر الإطار في الصفحة 58*].

تستند منظومة ألُويْ وأدوات فحص التصميم المتصلة بها، إلى ربع قرن من الأبحاث حول طرائق إثبات صحة البرامج رياضياتيا. وبدلا من المطالبة بإجراء البراهين يدويا، تستخدم هذه الأدوات تقنيات مؤتمتةً للمحاكمة تعالج مسألة التصميم البرمجي بمثابة **أحجية صور مقطّعة** jigsaw puzzle عملاقة يتعيّن حلّها. إن هذه المحلّلات تعالج التصاميم، لا كود البرنامج، ولذا لا يمكنها أن تضمن عدم إخفاق البرنامج. لكنها توفر لمهندسي البرمجيات التوصل للمجموعة الأولى من الأدوات العملية التي يمكنها أن تضمن أن التصاميم منيعة وخالية من العيوب المفاهيمية، وأنها توفر أساسا متينا تُبنى عليه نظم برمجية يمكن الاعتماد عليها.

تقييم التصاميم(**)

ليست البرمجيات الرديئة بالمسألة الجديدة. فالتحذيرات من أزمة البرمجيات تعود إلى ستينات القرن العشرين. وهي قد تفاقمت فقط الآن لأن الحواسيب قد تغلغلت في نسيج المجتمع(1).

تفلّى وتُنقّح معظم البرمجيات اليوم عادة باختبارها. إذ يُشغّل المهندسون البرمجيات باستخدام مجموعة كبيرة من الشروط الابتدائية (أو المُدخَلات) ليروا إذا ما كانت تعمل كما هو متوقع منها. ومع أن هذا الإجراء يكشف عن جملة من العيوب الصغيرة في البرمجيات، فهو غالبا ما يغفل عيوبا في التصميم الأساسي. ومن وجهة نظر ما، فإن إجراءات الاختبار هذه تضلّ عن الغابة (المريضة) بتركيزها على الأشجار (المتعفنة).

والأسوأ من هذا أن **البقّات** bugs التي يجري «إصلاحها» أثناء عملية الاختبار غالبا ما تُفاقم مشكلات التصميم. فحين يفلّي المبرمجون الكود ويحشرون فيه سمات جديدة، لا بد من أن تُربّي البرمجيات من التعقيدات ما يشبه العوالق التي تلتصق بالسفن في البحر فتنتقص من كفاءتها، وتولّد مزيدا من الفرص لحدوث الأخطاء. إن هذه الحالة تُذكّر بنظرية بطليموس (الخاطئة) عن حركة الكواكب التي كان الإغريق القدماء

نظرة إجمالية/ فاحصات تصميم البرمجيات(*)

- **على الرغم من الأهمية المتنامية باستمرار للبرمجيات الحاسوبية في حياتنا اليومية، فإن مهندسي البرمجيات نادرا ما يحللون تصاميمهم لضمان اعتمادها. لكن الحال آخذة في التغيُّر مع التطورات الحديثة لأدوات فحص تصاميم البرمجيات، مثل الأداة ألُويْ Alloy.**
- **تضمّ الأداة ألُويْ لغة تيسّر نمذجة تصاميم البرمجيات المعقدة، مع محرك تحليل يبحث بالتفصيل عن عيوب مفاهيمية وبنيوية بطريقة مؤتمتة، ويُعامل التصاميم وكأنها أحاجي هائلة يجب حلها.**
- **في المستقبل القريب نسبيا، سوف تُحسّن أدوات مشابهة للأداة ألُويْ إمكانات الاعتماد على البرمجيات، بجعل تطوير البرامج يقوم على ممارسات للتصميم بنّاءة وأشد منعة.**

(*) Overview: Software Design Checkers

(**) Evaluating Designs

(1) انظر: "*Software's Chronic Crisis*," by W. Wayt Gibbs, *Scientific American*, September 1994

تساعد الأداة ألُويْ مصممي البرمجيات على العثور على مثالب التصميم وإصلاحها، بتوفير لغة توضح بنية البرنامج، ومحلِّل مؤتمت يبحث ضمن العدد الهائل من التنفيذات الممكنة للمنظومة عن مثال مضاد. يُبيِّن كيف يمكن للمنظومة أن تُخفق في القيام بما هو مطلوب منها. وفي المثال المُبسَّط أدناه، يستخدم أحد المهندسين الأداة ألُويْ لتقييم تصميم نظام ملفات، أي البرمجيات التي ترتب ملفات حاسوبك في مجلدات وتخزنها على قرص. إن إحدى مهام الأداة ألُويْ الحيوية هي تحديد الآثار التي يمكن أن تُحدثها العمليات المختلفة في بنية الملف. ونبين هنا كيف يمكن للمصمم أن يُنمذج ويفحص العملية التي تحرك مجلدا أو «دليلا» من موقع في **ترانبية** hierarchy الملفات إلى آخر

المفعول — كود ألُويْ

الخطوة الأولى: عرِّف المكوِّنات

يُحدِّد المصمم مكونات النظام - أيّ **ملفاته وأدلته** directories ومنظومة **ملفاته** file system على نحو شامل - وعلاقاتها البينيّة. يقول نموذج ألُويْ إن نظام الملفات FS يمتلك ثلاث مكونات: files (أو مجموعة الملفات)، و dirs (أو مجموعة أدلته)، و contains (أو خريطة تعطي جملة الملفات والأدلة التي يحتويها كل دليل).



الخطوة الثانية: نمذج العملية

بعدئذ يُنمذِج المُصمِّم عملية تحريك (حرِّك الدليل) ("move-dir") لمنظومة الملفات قبل ("fs") إلى منظومة للملفات بعد ("fs'"). تشمل العملية دليلين "d," وهو الدليل الذي سيتم نقله، و"to"، وهو المكان الذي يُنقل الدليل إليه. تلي ذلك ثلاثة قيود تصف المفعول المقصود في ثلاثة أسطر منفصلة: أولا، كل من المكوِّنة التي ستُحرَّك وموقعها الجديد هما دليلان ضمن منظومة الملفات. ثانيا، وهنا يتركّز جوهر العملية: إذ نستدعي أن يكون جدول المحتوى الجديد نفس الجدول القديم مع حذف كل جدولة من دليل إلى "d"، وإضافة جدولة من "to" إلى "d" والسطر الثالث يقول إنه لا يخضع شيء آخر للتغيير

```
pred move_dir (fs, fs': FS, d, to: Dir) {
d + to in fs.dirs
fs'.contains = fs.contains - Dir->d + to->d
fs'.files = fs.files and fs'.dirs = fs.dirs
}
```

الخطوة الثالثة: تحديد المتطلبات

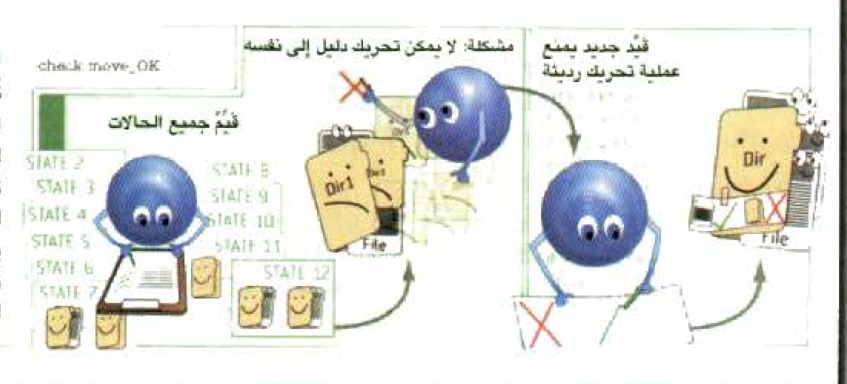
ثم يصيغ المصمم شرطا حيويا: يجب أن يكون كل ملفٍ وكل دليل **بالمتناول** reachabe (أي يمتلك مساراً يوصل إليه) انطلاقاً من جذر ما. ويُسجَّل هذا في نموذج ألُويْ بوصف «**توكيدة**» assertion تسمى "move-ok" وتنبئ بأن تنفيذ عملية التحريك لا يجعل ملفا أو دليلا بعيدا عن المتناول انطلاقا من جذر ما.

```
pred reachable (fs: FS) {
  some root: fs.dirs | fs.(dirs+files) in root.*(fs.contains)
  }

assert move_OK {
  all fs, fs': FS, d, to: Dir |
    reachable (fs) and move_dir (fs, fs', d, to) implies reachable (fs')
  }
```

الخطوة الرابعة: جد الخطأ وأصلحه

تُنفِّذ الأداة ألُويْ **التعليمة** "check move-ok" بتوليد جميع الحالات الممكنة للنظام (حتى حجم معين) وبفحص التوكيدة لكل منها، وبذلك نُحاكي التحريكات الممكنة التي يمكن أن تحصل حين تشغيل البرنامج. وتجد الأداة ألُويْ مثالا مضادا للتوكيدة. وهو دليل يمكن تحريكه إلى نفسه. إن هذا الفعل قد يفصل الدليل عن الجذر، جاعلا إياه بعيدا عن المتناول. ولعلاج هذه الحالة يمكن للمصمم إضافة قيد جديد لا يسمح للدليل بالتحرك إلى نفسه أو إلى أي ما سيخلّفه من أدلة



(*) Alloy In Action



اسهمت الأداة ألُوي في جعل نظام الطيران مبيعا على العابثين.

الفكرة هي محاكاة كل حالة يمكن أن يدخلها البرنامج لتحديد أن أيًا منها لا يسبب إخفاقا.

أول من وضعها في العصور الوسطى. حين بيّنت المراقبة الفلكية أن تنبؤات الإغريق غير دقيقة، عدّل الفلكيون نظام بطليموس الذي كان يعتمد على الأفلاك الدائرية المتجاورة، بإضافة أفلاك دائرية متجاورة إلى تلك التي ضمّها النموذج الأسبق. ولم تحل التنقيحات الإضافية عبر القرون المشكلة، لأن المفهوم ابتداءً كان يتضمن خطأ جسيما.

وعلى غرار ذلك، تنزع البرمجيات الرديئة إلى أن تصبح أكثر تعقيدا وأقلّ اعتمادية، مهما بُذل من المال والوقت لتحسينها. فمن المعروف جيدا أن المشكلات الجديّة في نظم البرمجيات نادرا ما تكون نتيجة أخطاء في البرمجة؛ بل يمكن أن تُردّ معظم الصعوبات الجسيمة التي تعانيها البرمجيات إلى أخطاء مفاهيمية، ارتُكبت حتى قبل الشروع في البرمجة. وعلى نقيض ذلك، فإن مقدارا صغيرا من النمذجة والتحليل، أثناء المراحل الأولى من تحديد المتطلبات والمواصفات أو تصميم البرنامج، لا يُكلّف إلا قسطا طفيفا من تكلفة فحص الكود كله، لكنه يحقّق جزءا كبيرا من المزايا التي يمكن اكتسابها من جراء تحليل شامل. إن الاهتمام بالتصميم مبكرا يدرأ مشقات مكلفة فيما بعد.

لقد ظهرت أدوات تصميم البرمجيات ببطء، لأن البرمجيات لا تخضع لقوانين فيزيائية. فالبرنامج الحاسوبي في جوهره كيان رياضياتي تُبنى القيم التي يتضمنها من البتات، وتتصف البرامج الحاسوبية بكونها متقطّعة (كالجسيمات) بدلا من أن تكون مستمرة. فيمكن لمهندس الميكانيك، مثلا، القيام باختبار كيان فيزيائيّ ما بإجهاده مطبقا قوةً كبيرةً. مفترضا أن اجتياز هذا الكيان للاختبار يدل أنه لن يخفق حين إخضاعه لقوة أصغر قليلا. وحين يكون الكيان خاضعا لمبادئ العالم الفيزيائي (المستمرة غالبا)، فإن تغيّرا طفيفا في أحد المقادير يؤدي إلى تغيُّر طفيف في مقدار آخر لكنْ من سوء الطالع، أن مثل هذا التعميم لا ينطبق على البرمجيات، إذ لا يمكن الاستقراء من اختبار إلى آخر. وإذا عمل جزء من البرمجيات عملا صحيحا، فإن هذا لا يُنبئ بشيء، عن عمل جزء مشابه من الكود، لأنها متقطعة ومنفصلة بعضها عن بعض.

وفي الأيام الأولى من تطور علم الحاسوب، أمل الباحثون أن يتمكن المبرمجون من إثبات صحّة برامجهم بالطريقة التي يُثبت بها الرياضياتيون نظرياتهم. لكن عدم وجود طريقة لأتمتة الخطوات الكثيرة المتصلة بالإثبات، يفرض على خبير بشري القيام بالقسط الأكبر من العمل. إلا أن هذه المهام، التي تسمى بالطرائق الرسمية الشاقة، لم تكن عمليّة إلا من أجل أجزاء متواضعة من البرمجيات البسيطة نسبيا ولكنْ الشديدة الأهمية في الوقت ذاته، مثل خوارزمية للتحكم في تقاطعات السكك الحديدية.

وفي الآونة الأخيرة اعتمد الباحثون نهجا مختلفا كليا، يستخدمون فيه قدرة المعالجات الأسرع المتوافرة اليوم، لاختبار كل مشهد ممكن. إنّ هذا المنهج، الذي يسمى **فحص النموذج** model checking، يُستخدم على نطاق واسع حاليا للتوثق من تصاميم الدارات المتكاملة. والفكرة الكامنة في هذا المنهج ترتكز على القيام بمحاكاة كل متتالية ممكنة من الحالات (حالات المنظومة في أوقات معينة) التي يمكن أن تنشأ في الواقع للتأكد من أنّ أياً منها لن يؤدي إلى إخفاق. وفي حالة تصميم **شيبة ميكروية** microchip، فإن عدد الحالات التي يجب تقييمها غالبا ما يكون هائلا: من رتبة 10100 أو أكبر. والتحدي في حالة البرمجيات أكثر حدّة؛ لكن استخدام تقنيات تكويد ذكية (يمكن بوساطتها تمثيل مجموعات كبيرة من حالات البرمجيات تمثيلا مضغوطا جدا) يسمح بتفحص كل حالة بالنظر في هذه المجموعات الكبيرة على نحو متوانٍ، أي في الوقت ذاته.

لكن ما يُؤسف له أن منهج فحص النموذج لا يستطيع بمفرده معالجة حالات ذات بنى معقدة، تميّز معظم تصاميم البرمجيات. لقد طوّرت مع زملائي الباحثين نهجا يشترك مع منهج فحص النموذج بالروح نفسها، لكنه يستخدم آلية مختلفة. فعلى غرار منهج فحص النموذج، يعتبر المنهج الذي طوّرناه جميع المشاهد الممكنة (مع أنه يجب، في الواقع، وضع بعض الحدود لإبقاء المسألة **محدودة** finite، لأن البرمجيات ليست مقيدة بالقيود الفيزيائية التي يفرضها العتاد). لكنْ خلافا لمنهج فحص النموذج، لا تتفحص تقنيتنا المشاهد جميعها، الواحد تلو الآخر، بل تبحث عن مشهد رديء، مشهد يؤدي إلى إخفاق، بتعبئة كل حالة بطريقة مؤتمتة، البتة تلو الأخرى، وبترتيب غير محدد.

يمكن مقارنة العملية بقيام ذراع إنسالية بوضع كل قطعة من قطع أحجية الصورة المقطّعة في مكانها، الواحدة تلو الأخرى، إلى أن تظهر الصورة الكاملة في النهاية. وإذا كانت تلك الصورة موافقة لمشهد رديء، تكون الأداة ألُوي قد أدّت وظيفتها. وبذلك تعامل الأداة ألُوي تحليل التصميم وكأنه أحجية يجب حلُّها. إن بعض فاحصات النماذج البرمجية التي طُوِّرت مؤخرا تعمل بهذه الطريقة أيضا.

الحل هو أحجية(*)

لفهم كيف تحل الأداة ألُوي أحاجي تصميم البرمجيات، من المفيد أن ننظر في لغز قديم. يذهب مزارع إلى السوق، ويشتري ثعلبا وإوزةً وكيسا من الذرة. وعليه في

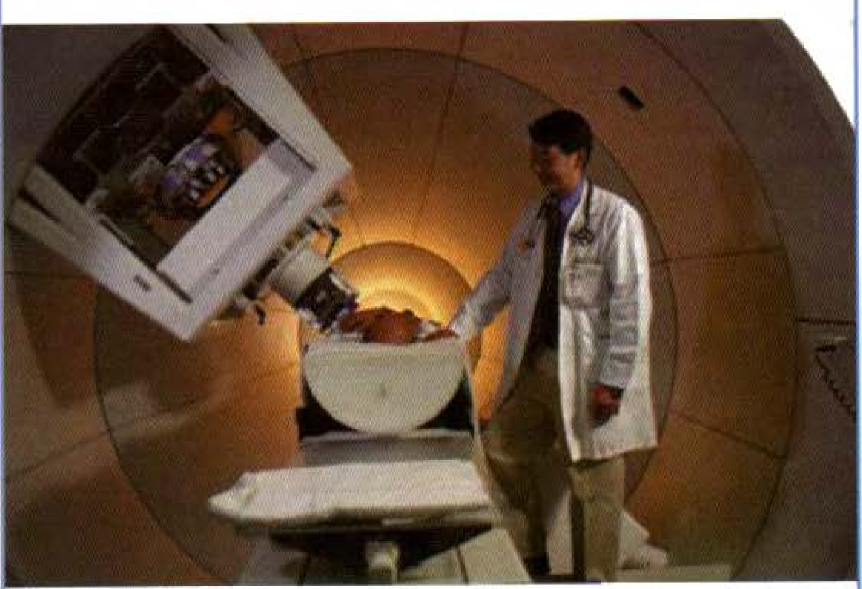
(*) The Solution Is a Puzzle

تفلية آلات معالجة السرطان(*)

تعتمد التجهيزات الطبية الحديثة على البرمجيات في كل جانب من جوانب عملها تقريبا. وفي آلة تُستخدم لعلاج السرطان، فحتى زر "التوقف للطوارئ" ليس مفتاح فصل كهربائي فعليّ، بل هو برنامج حاسوبي. ويؤدي كبس هذا الزر إلى تنفيذ نحو 1500 سطر من الكود لإيقاف النظام، ما لم تكن ثمة مشكلة أو عيب تصميمي في البرنامج طبعا. وهنا يأتي دور الأداة أُلوي التي تحلل البرامج للعثور على مشكلات التصميم.

بالعمل مع مطوّري منظومة علاج السرطان، مثلا، استخدمنا الأداة أُلويْ لاستقصاء تصميم بعض سماته. وفي إحدى الحالات، أخذنا تصميما لنظام جدولة جديد يحدد غرفة العلاج التي يجب إرسال الحزمة إليها. وجهّزنا الأداة أُلويْ للبحث عن مشاهد يمكن فيها للتفاعل بين المُشغِّل في غرفة التحكم الرئيسية والمعالجين في غرف العلاج أن يُؤدي إلى نتائج غير متوقعة. وقد وجدت الأداة أُلويْ مشاهد متنوعة لم تكن متوقعة أصلا.

وفي حالة أخرى، طبقنا الأداة أُلويْ على تصميم بروتوكول مُحْكَم لوضع المريض تحت الحزمة البروتونية، وقد تبين أن البروتوكول يؤدي إلى نتيجة خفية وغير متوقعة: تغيُّر زاوية حامل مصدر الإشعاع مع الوقت، حتى لو لم تُضبط عمدا. وباستخدام نموذج صغير للأداة أُلويْ بينا كيف يمكن، باختيار التجريدات الصحيحة تقليص هذه المشكلة إلى ذات المشكلة، البسيطة نسبيا، لتصميم المنظومة التي تتذكر وضعيات مقعد السائق في السيارة. وفي الواقع، فإن منظومة المعالجة بالحزمة البروتونية تتضمن الكثير من وسائل الحماية، ولم تكن مشكلة حامل مصدر الإشعاع خطيرة. لكن لو استُخدمت التجريدات الصحيحة من البداية، لكان التصميم أبسط بكثير، ولكان تشغيل البرمجيات أسهل كثيرا.



إن اتخاذ المريض لوضعية صحيحة، يتم التحكم فيها بوساطة البرمجيات، مهم جدا للتحكم في جرعة الإشعاع في آلة معالجة السرطان. وقد ساعدت الأداة أُلويْ على تحسين تصميم البرمجيات لآلة مشابهة.

طريقه إلى البيت أن ينقل مشترياته عبر نهر في قارب. لكن القارب لا يحمل إلا المزارع وأحد مشترياته في آن واحد. وهنا تكمن المشكلة. إذا لم تكن ثمة مراقبة، فإن الثعلب قد يأكل الإوزة، والإوزة قد تأكل الذرة. فكيف يستطيع المزارع نقل جميع مشترياته إلى ضفة النهر الأخرى غير منقوصة؟

يتطلب حلّ هذا النوع من الأحاجي إيجاد مَشاهد تحقّق مجموعة من القيود. وسنؤدي هذه المهمة ذهنيا بتصور سلسلة من الخطوات: ينقل المزارع الإوزة أولا، ثم ينقل الثعلب ويُعيد الإوزة إلى ضفة النهر الأولى، حيث يتركها وينقل الذرة، ثم يعود وينقل الإوزة. وبالتحقق من أن كل خطوة تتفق مع القيود، يمكن ضمان سلامة كل من مشترياته.

يفرض التصميم الناجح للبرمجيات مجموعة مشابهة، وإن كانت أشد تعقيدا بكثير، من القواعد. ولكي تكون أداة فحص التصميم مفيدة، يجب إيجاد أمثلة مضادة أي حلول للأحجية التي تحقّق جميع القيود «الجيِّدة» (والتي يمكن لذلك حدوثها حين تشغيل البرنامج) وقيدا إضافيا «رديئا» (يعطي لذلك نتيجة غير مقبولة). إذا ظهرت مثل هذه الأمثلة المضادة، فإنها ستكشف عن عيوب في التصميم. وهكذا، ففي حين أن من يحل الأحاجي يكون سعيدا بعثوره على حل «لمعضلة المزارع»، فإن إيجاد حلٍّ لأحجية تصميم البرمجيات يُعدّ خبرا سيئا؛ إذ يعني وجود مشهد غير مرغوب فيه، وأن في التصميم عيبا. ومن وجهة نظر عملية، قد لا يقود المثال المضاد نفسه إلى أية مشكلة، لكنه قد يكشف عن تناقض في الكيفية التي وصف بها المصمم أصلا النتائج غير المقبولة. وفي الحالتين ثمة ما يجب إصلاحه: إما التصميم، أو توقعات المُصمِّم.

إن الصعوبة الكبرى في البحث عن الأمثلة المضادة هي أن عدد المشاهد المحتملة في تصميمٍ ما، حتى لو كان متوسط التعقيد، للبرمجيات يكون عادةً كبيرا جدا، في حين أن قسطا صغيرا جدا من هذه المشاهد يقابل أمثلة مضادة. تخيَّل محاولة وضع خطة لتحديد مَنْ سيجلس بجانب مَنْ في حفل زواج. فإذا كان جميع الحضور متوافقين فيما بينهم، كان الحلّ بسيطا. لكنّ تغدو المسألة أكثر صعوبة إذا تضمنت لائحة المدعوين أزواجا مطلقين ينبغي إجلاسهم بعيدا عن بعضهم بعضا. لنفترض الآن مخططا لتنظيم إجلاس يخص حفل زواج «روميو» من «جولييت». فإذا كان ثمة 20 مقعدا، وكان بمستطاع أي من 10 ضيوف الجلوس في كلّ منها، لنجمت 10^{20} تركيبة ممكنة. وحتى لو أمكن فحص بليون مشهد في الثانية، فإن الحاسوب يتطلّب 3000 سنة لاستقصاء جميع تلك التراكيب.

في ثمانينات القرن العشرين، عرّف الباحثون مشكلات من هذا النوع باعتبارها فئة خاصة من المشكلات التي في أسوأ الحالات لا يمكن حلّها إلا بالنظر إلى جميع المشاهد الممكنة. لكنّ في العقد الماضي، وبتوافر استراتيجيات بحث وخوارزميات جديدة، واعتمادا على القدرة الحاسوبية المستمرة في التنامي، ابتكر الباحثون أدوات سُمّيت حلاّلات تحقيق الشروط أو SAT (من الكلمة satisfiability). تستطيع معالجة هذه المسائل بسهولة نسبيا. وكثير منها متوافر الآن مجانا، ويستطيع غالبا حل مشكلات تتضمن ملايين القيود.

(*) Debugging Cancer Therapy Machines

أهمية التجريد[*]

إنّ الأداة ألُويْ، كما تدل تسميتها (في الإنكليزية) هي خليط من عنصرين يساعدان على جعل تصاميم البرمجيات أشدّ مناعة أحدهما لغة جديدة تساعد على إيضاح بنية تصميم البرنامج وسلوكه، والآخر هو محلّل مؤتمت (يتضمن الحلاّل SAT) يبحث في عدد كبير من المشاهد الممكنة.

الخطوة الأولى في استخدام الأداة ألُويْ هي وضع نموذج دقيق للتصميم، يتجاوز الرسم التقريبي أو المخطط الانسيابي الذي يُستخدم عادة في هندسة البرمجيات، ليوضح «الأجزاء المتحركة» في المنظومة وتفاصيل تصرفاتها ومكوناتها، المرغوب وغير المرغوب منها. فيكتب مهندس البرمجيات أول الأمر تعريفات لمختلف أنواع مكونات التصميم، ثم يُجمِّع هذه المكونات في مجموعات رياضياتية، أي مجموعات من الأشياء المتشابهة في بناها وسلوكها (كالمجموعة التي تضمّ أهالي كلٍّ من العروسين، على سبيل المثال) التي تربطها علاقات رياضياتية (من قبيل العلاقة التي تربط الضيوف الجالسين جنبا إلى جنب).

بعدئذ يأتي دور حقائق تضع قيودا على هذه المجموعات والعلاقات. ففي تصميم البرمجيات، تتضمن الحقائق آلية المنظومة البرمجية، وافتراضات حول المكونات الأخرى (النقل: تعليمات حول الكيفية التي يُتوقّع أن يتصرف بها مستخدمو البرمجيات). إن بعض هذه الحقائق هي افتراضات بسيطة، كأن لا يجلس أحد من آل العريس بجوار أحد من آل العروس في آن واحد، وأن يجلس كل ضيف بجانب ضيفين آخرين تماما. وبعضها يعبِّر عن التصميم نفسه: في خطتنا للجلوس، مثلا، القاعدة التي تنص على أن كل طاولة، باستثناء الطاولة الرئيسية، تُخصَّص إما لعائلة معينة أو لأخرى.

وأخيرا، هناك **توكيدات** assertions، هي بمثابة قيود يُتوقّع أن تنبثق عن الحقائق. وفي مثالنا، فباستثناء <روميو> و <جولييت>، يجب ألاّ يُجلَس شخص من آل العروس، من أسرة <كابوليت> بجوار واحد من آل العريس، من أسرة <مونتاكيو>. إن التوكيدات تقول إن المنظومة لا يمكن أن تصبح في حالة ما غير مرغوب فيها، وإن متتاليات معينة من الأحداث السيئة لا يمكن أن تحصل البتة.

ويسخِّر العنصرُ المحلِّلُ من الأداة ألُويْ الحلاّلَ SAT للبحث عن أمثلة مضادة ـ أي عن مشاهد ممكنة لمنظومة البرمجيات يسمح بها التصميم، لكنها لا تجتاز فحص المنطق (الذي ينفِّذ بكتابة توكيدات يجب أن تكون صحيحة إذا كان النموذج قد صُمِّم تصميما صحيحا). بكلمات أخرى، تحاول هذه الأداة بناء حالات تُوافق الحقائق، لكنها تخرق توكيدا منصوصا عليه. وفي حالتنا، يمكن أن تولِّد الأداة مخطَّطَ إجلاس الضيوف: يجلس فيه مدعوٌ من آل <كابوليت> (غير جولييت) إلى جانب مدعوٍّ آخر من عائلة <مونتاكيو> (غير روميو) على الطاولة الرئيسية. ولوضع القاعدة التي يتعين اتباعها في تصميم خطّة الإجلاس، يمكننا إضافة حقيقة جديدة هي أن على <روميو> و <جولييت> أن يحتلا الطاولة الرئيسية لوحدهما. وهنا لا يمكن للأداة ألُويْ أن تجد مثالا معاكسا.

تشكل المجموعات والعلاقات والحقائق والتوكيدات معا تصريحات هي بمثابة **تجريد** abstraction يمثِّل جوهر تصميم البرمجيات. فتدوين هذه الأمور كلها يجعل حدود عمل المنظومة واضحة، ويجبر المهندسين على التفكير مليًّا في أيٍّ من التجريدات التي ستعمل على النحو الأفضل. إذ إن الاختيار الرديء للتجريد يقبع في

أدوات لتفحّص تصاميم البرمجيات[**]

طوّر علماء الحاسوب جيلا جديدا من الأدوات لتفحّص تصميم البرامج (إضافة إلى الأداة ألُويْ) يمكن للمبرمجين استخدامها لتحليل واختبار كوداتهم بحثا عن عيوب بنيوية ومفاهيمية يمكن أن تؤدي إلى إخفاق المنظومات التي تشغلها البرمجيات. إن أدوات تقييم التصميم هذه، التجارية منها **والمفتوحة المصدر** open source، تقوم على لغات متخصصة عالية المستوى (حواش تلخص لبنات الكود) طوَّرها الباحثون لتيسير توصيف ونمذجة ومحاكاة المناهج المختلفة المتبعة في تطوير البرمجيات.
وتتضمن هذه الأدوات محركات تحليل مؤتمتة تستكشف العدد الهائل من التنفيذات الممكنة للمنظومة بحثاً عن عيوب خفيّة في التصميم يمكن أن تحمل النظام على التصرف على نحو غير مقبول، وتسمى إحدى هذه الأدوات المثال المضاد. تحتوي أدوات تصميم البرمجيات هذه في الكثير من الأحيان تسهيلات يمكن أن تساعد المصممين على رؤية الأمثلة المضادة أو العلاقات بين لبنات الكود.

اللغة	الأداة	المصدر	الموقع على الإنترنت
B	B-Toolkit	B-Core	www.b-core.com
	Atelier-B	Steria	www.atelierb.societe.com
	Pro-B	University of Southampton	www.ecs.soton.ac.uk/~mal/systems/prob.html
CSP	FDR	Formal Systems Europe	www.fsel.com
FSP	LTSA	Imperial College London	www.doc.ic.ac.uk/~jnm/book/ltsa/Ltsa.html
Lotos	CADP	INRIA Research Institute	www.inrialpes.fr/vasy/cadp/
OCL	USE	University of Bremen	www.db.informatik.uni-bremen.de/projects/use
PROMELA	Spin	Bell Laboratories	spinroot.com/
Statecharts	Statemate	I-Logix	www.ilogix.com
VDM	VDMTools	CSK Corp	www.csk.com/support_e/vdm/
			www.vdmbook.com/tools.php
Z	Jaza	University of Waikato	www.cs.waikato.ac.nz/~marku/Jaza/
Zing	Zing	Microsoft Research	research.microsoft.com/zing/

(*) Importance of Abstraction
(**) Tools for Checking Software Design

التتمة في الصفحة 69

تملُّك مادة الحياة[*]

لم تتسبب براءات الدنا *DNA* في الإخلال بالأبحاث الطبية الحيوية والمعايير المجتمعية الذي توقعه الناقدون. ولكن الطوفان قد يكون في الطريق.

<G. ستيكس>

هناك جينة في خلايا جسدك تؤدي دورا مفتاحيا في المراحل المبكرة من نمو النخاع (الحبل) الشوكي، وملكيتها تعود إلى جامعة هارفرد. وهناك جينة أخرى تصنع البروتين الذي يستعمله فيروس التهاب الكبد من النمط A كي يرتبط بالخلايا: إن وزارة الصحة والخدمات الإنسانية الأمريكية تملك البراءة الخاصة بها. كما أن الشركة إنسايت Incyte Corporation [التي مقرها الرئيسي في ويلمنگتون بولاية ديلاور] استحوذت على براءة الجينة الخاصة بمستقبل الهستامين: المركب الذي تحرره الخلايا أثناء موسم حمى الكلأ. إنّ ما يقارب نصف عدد الجينات المعروفة بانخراطها في التسرطن قد شملته البراءات.

تحمل الخلايا البشرية نحو 24 000 جينة، تشكل برنامج الخلايا المئة ألف بليون (مئة تريليون)، التي تكوِّن الجسم البشري. ومع بلوغنا منتصف العام الفائت (2005)، حرر مكتب الولايات المتحدة للبراءات والعلامات التجارية براءات لصالح الشركات والجامعات والوكالات الحكومية والمجموعات غير الربحية، شملت ما يقرب الـ20 في المئة من الجينوم البشري. وإذا توخينا المزيد من الدقة، فهناك طبقا لدراسة نُشرت في عدد 2005/10/14 من مجلة **ساينس** *Science* من قبل <F. ورتي> و<K. I. جنس> [من معهد ماساتشوستس للتقانة] 4382 من أصل الـ886 23 جينة، التي اختُزنت تسلسلاتها في قاعدة بيانات المركز الوطني للتقانة الحيوية والمعلومات، تحمل براءة واحدة على الأقل. وتمتلك الشركة إنسايت بمفردها ما يقرب العشرة في المئة من مجمل هذه الجينات البشرية.

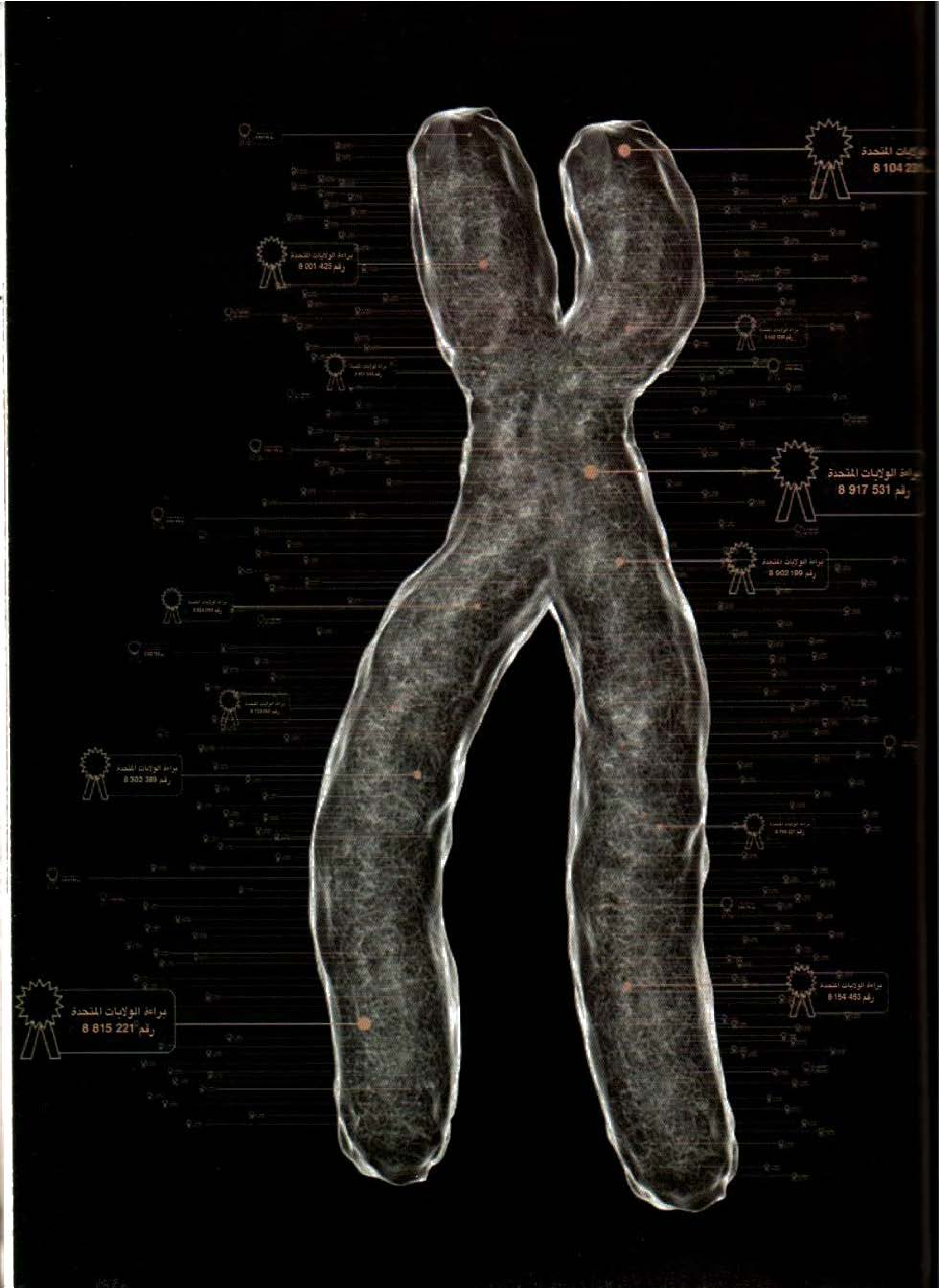
ويؤكد مسح قاعدة البيانات الجينية أن تسجيل البراءات الخاصة بالحياة، قد أمسى اليوم راسخا بقوة. ومع ذلك، فلاتزال هذه الظاهرة تَصدُم العديد من البشر كأمر غريب وشاذ ومقلق. «كيف يمكنك أن تحوز براءة الجينات الخاصة بي؟» هو السؤال الأول الذي غالبا ما يتبادر إلى الذهن. و«كيف يمكن لشخص ما أن ينال حقوقَ ملكية نمط من الفئران أو الأسماك، في حال «ابتكرت» الطبيعة ـ لا الإنسان ـ جينات هذا الفأر أو ذاك السمك؟. ما الذي سيحدث للبحث العلمي المفتوح، في حال أضحى نصف عدد كامل الجينات السرطانية المعروفة مشمولا في براءات؟. هل يعني ذلك أن على الباحثين أن يخصصوا للمنازعات القضائية وقتا يفوق ما يخصصونه في البحث عن علاج ما؟.»

يتابع الأخلاقيون والقضاة والعلماء ومتفحصو البراءات هذه المناقشات، التي ستنمو وتحتد في حقبة جديدة من طب يتسم بالتوجه الشخصي ويبحث في الجينوميات والپروتيوميات التي تتفحص في آنٍ واحد فعاليات الكثير من الجينات أو الپروتينات المختلفة. إذًا، سيعول الأطباء بشكل متزايد، على اختبارات مسجلة في براءات تتيح للسريريين (الإكلينيكيين) أن يطابقوا المرضى، ذوي السمات الوراثية المحددة، مع العقاقير الأفضل. وبالفعل، يقوم الباحثون حاليا عمل جينومات بأكملها. ومن المحتمل إذًا أن ينتهي عدد كبير من الجزيئات البيولوجية المستعملة في هذه الدراسات المعقدة، مثقلا باشتراطات الترخيص، التي ستحول إما إلى عدم إجراء أبحاث تقود إلى علاجات جديدة، أو إلى تغذية تضخم كلفة الرعاية الصحية الوطنية، المتخمة أصلا.

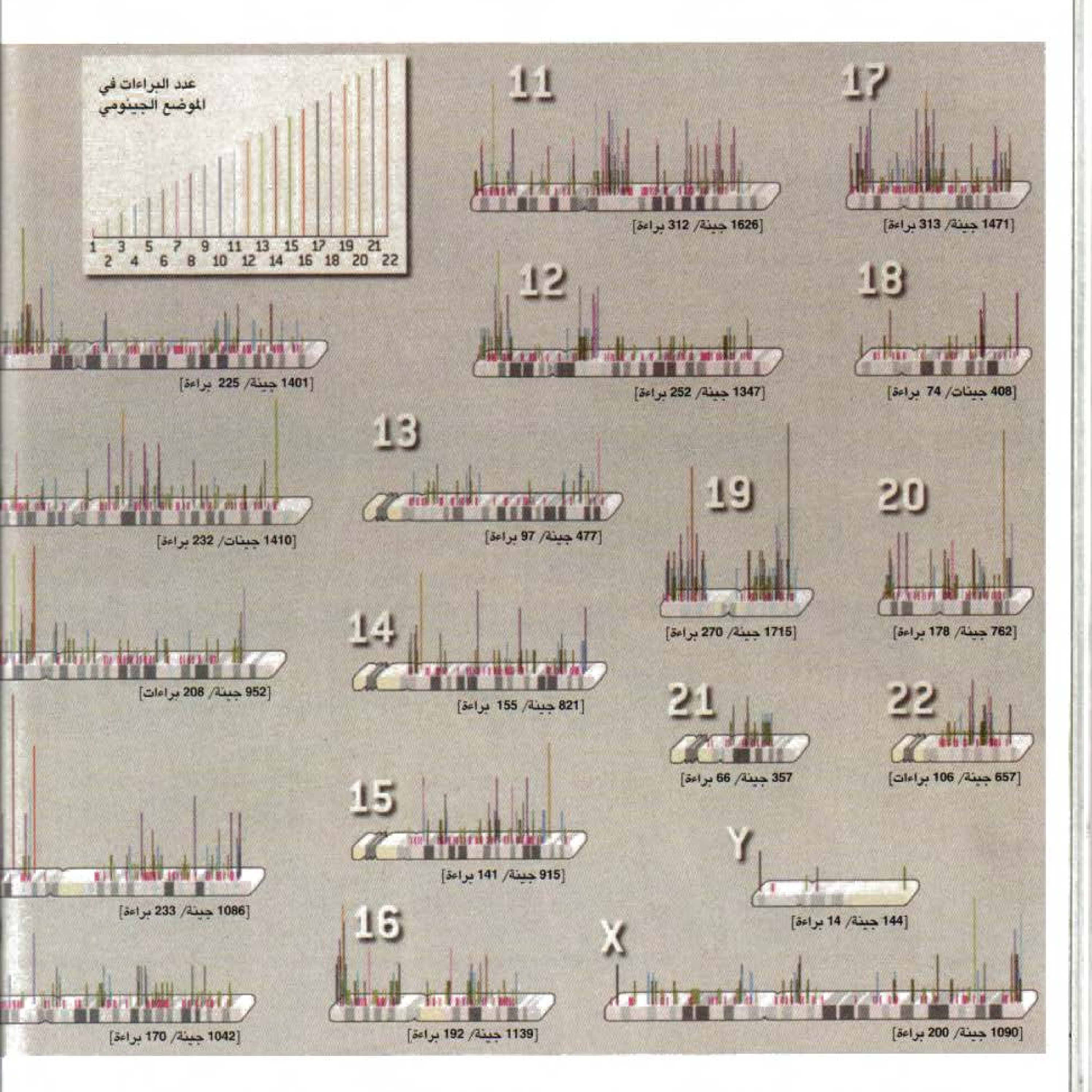
نظرة إجمالية/ تسجيل الجينات في براءات اختراع[**]

- صادف عام 2005 الذكرى الخامسة والعشرين لقرار المحكمة الحَدَثي، الذي فتح بوابة طوفان من البراءات لكل من الدنا والكائنات الحية الكاملة.
- إن ما يقارب خُمس عدد جينات الجينوم البشري، الذي يبلغ قرابة 24 000 جينة، يشتمل على براءة واحدة أو أكثر. كما أن 50 في المئة تقريبا من الجينات المسرطنة المعروفة سُجلت في براءات.
- عموما، الإعاقة التي يُخشى منها على الأبحاث الأساسية نتيجة مُلكية كل من الوسائل القائمة على الجينات وعلى المعرفة الحرجة، لم تتبلور بعد، ولكن هذا قد يحدث مع دخول الاكتشافات الجينومية والپروتيومية حيزَ الاستثمار التجاري.
- عموما لقد تم في الولايات المتحدة تجاهل القضايا الأخلاقية المرتبطة بالبراءات لدى تطبيق واتباع سياسات وقرارات قانونية؛ في حين لاتزال هذه الموضوعات في حيز اعتبارات كل من أوروبا وكندا.

(*) OWNING THE STUFF OF LIFE
(**) Overview / Genetic Patenting



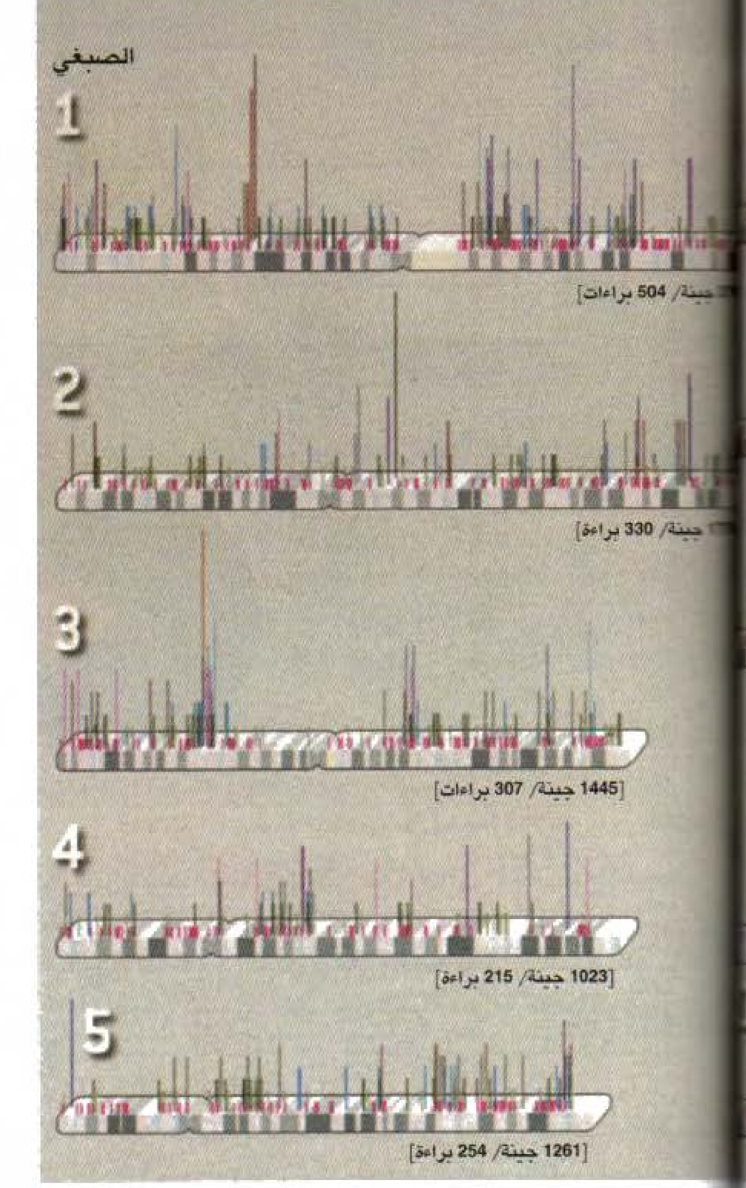
براءة الولايات المتحدة
رقم 8 001 425
براءة الولايات المتحدة
رقم 8 917 531
براءة الولايات المتحدة
رقم 8 902 199
براءة الولايات المتحدة
رقم 8 302 389
براءة الولايات المتحدة
رقم 8 154 463
براءة الولايات المتحدة
رقم 8 815 221



إن السؤال حول «من يمتلك الحياة»، قد سبق وآن طرح. ولكن ما أخذه باحثو معهد ماساتشوستس للتقانة بعين الاعتبار، من تقاطع للملكية الفكرية مع البيولوجيا الجزيئية، تزامن مع الذكرى الخامسة والعشرين لقرار كان بمثابة نقطة تحول؛ اتخذته المحكمة العليا في الولايات المتحدة الأمريكية وقضى بإمكان تسجيل الكائنات الحية في براءات، في حال كانت هذه تنطوي على تدخل بشري؛ أي عندما يكون بإمكاننا، من حيث الجوهر، أن نصنف هذه الكائنات على أنها «صنيعة» الإنسان.

في عام 1972، تقدم <M .A. شاكراباتي> [وهو مهندس لدى «جنرال الكترك»] طالبا تسجيل براءة متمثلة في سلالة متفردة من بكتيرات[1] **الزائفة** pseudomonas، قادرة على تفكيك بقع النفط، بكفاية تفوق ما ينجزه مختص بالمعالجة الحيوية، يستعين بعدة سلالات لإنجاز ذات المهمة. إن <شاكراباتي> لم يصنع هذه السلالة عبر ما الفناه من تطبيقات للهندسة الجينية. في الواقع، لم تبتكر طرائق تجديل **الدنا** DNA المأشوب إلا في العام الذي تقدم فيه هو بطلب تسجيل البراءة. عوضا عن ذلك، «سمكر» <شاكراباتي> هذه البكتيرات بطريقة أكثر تقليدية: وذلك عبر حثها على قبول پلازميدات (حلقات من الدنا).

(1) جمع بكتيرة



تشير هذه الخريطة لصبغيات الإنسان إلى توزع كم البراءات المسجلة للجينات في الولايات المتحدة الأمريكية. ويمثل كل عمود ملون عدد البراءات في قطعة معينة من الصبغي، التي يمكن أن تشمل عدة جينات. يمكن للبراءة الواحدة أن تُغطي عدة جينات، كما يمكن للجينة الواحدة أن تُغطى ببراءات عديدة. ونتيجة لذلك، فإن عدد البراءات المشار إليها والخاصة بكل صبغي، لا يساوي بالضرورة مجموع القيم الممثلة بالأعمدة الملونة.

أُخذت من سلالات أخرى تحوي الخصائص المطلوبة. حينذاك رفض مكتب البراءات طلب <شاكراباتي> هذا، معللا ذلك بعدم إمكانية تسجيل سلالات هي «كائنات حية» و«نتاج الطبيعة».

وفي عام 1980، عندما قررت المحكمة العليا النظر في استئناف دعوى <شاكراباتي>، كان واقع البيولوجيا الجزيئية يتغير بصورة جذرية. فقد أصبح تجديل الدنا من كائن حي إلى آخر أمرا شائعا. وفي ذات العام نشأت شركة جديدة، هي أمجن Amgen، بغية استثمار هذه التقنية الوليدة، المتمثلة في قطع الدنا ولصقه. كما نُشرت في حينه، ورقة علمية تصف بالتفصيل كيف تم استعمال طرائق التشبيب في تركيب الإنترفيرون؛ حاز على إثرها كل من <S. كوهين> و<H. بوير> براءة تقنية مفتاحية لمنابلة الدنا. لقد كان الجو مفعما بالرغبة في تعزيز التقانة. ووافق الكونغرس على تشريع بيه-دول Bayh-Dole، الذي يتيح للجامعات الانخراط في اتفاقيات خاصة بالترخيص الحصري للتقنيات التي تملك براءاتها. كما أجاز تشريع ستيفنسون-وايدلر Stevenson-Wydler لمعاهد الصحة الوطنية والوكالات الفدرالية الأخرى ما أجازه للجامعات.

وفي خضم ذلك تلقّى قضاة المحكمة العليا «مذكرات حول القضية مقدمة من قبل أشخاص أو مجموعات لهم اهتمام بها من دون أن يكون لهم علاقة مباشرة بها»(1). ارتأى البعض الموافقة والآخر رفض الطلب الوارد في براءة <شاكراباتي>. وحثت مجموعات متنوعة، من الشركة جننتيك Genentech إلى أعضاء مجلس جامعة كاليفورنيا، على قبول طلب البراءة، مستشهدة ـ على سبيل القصر لا الحصر ـ بفوائد ستنعكس على كل من جهود التطوير الدوائي والإصلاح البيئي ومساعي إيجاد مصادر جديدة للطاقة؛ في حين أن **هيئة مصالح الأهالي** Poeple Business Commission، التي يشارك في رئاستها الناشط <J. ريفكين> شجبت بشدة تحوير الحياة، ووصفت كوارث بيئية وشيكة كعواقب لذلك.

وبالاستناد إلى الأكثرية، رفض رئيس المحكمة العليا <W. برگر> الاعتراضات حول تسجيل الحياة في براءات، باعتبار أنها في غير موضعها، قائلا «إن أي شيء على الأرض من صنع الإنسان» يمكن تسجيله في براءة. وبقي التساؤل الوحيد المطروح من قبل المحكمة العليا، فيما إذا كانت البكتيرات من «نتاج الطبيعة» أو أنها «ابتكار بشري». «لم يكن بوسع اينشتاين» تسجيل قانونه الشهير E=mc2، ولا كان بإمكان «نيوتن تسجيل قانون الجاذبية في براءة». ولكن باعتبارها نتاجا للإبداع البشري، وجب أن يكون لبكتيرات <شاكراباتي> المهندسة هذه وضع مختلف. وبرفض المحكمة لـ«عرض الأمور الشنيعة والرهيبة» الذي تقدم به <ريفكين>، أوحت المحكمة بأنها غير قادرة على الوقوف حجر عثرة في وجه التقدم. وأضاف <برگر> أن الكم الكبير من الأبحاث التي أنجزت فعلا، عندما لم يكن لدى أي باحث معرفة أكيدة من أن حماية البراءة ستكون متاحة، يوحي بأن الإجازة التشريعية أو القضائية فيما يتعلق بإمكانية تسجيل براءة أو عدمه، تعجز عن منع العقل العلمي من سبر المجهول كعجز <كانوت>(2) في السيطرة على ظاهرة المد في البحر.

وبعد القرار الذي اتخذه خمسة قضاة ضد أربعة، اعتمدت الصناعة والهيئات الأكاديمية التفسير الواسع لإمكان تسجيل البراءة المستوحى من قضية <شاكراباتي>؛ وذلك ليس كمبرر لتسجيل براءة الجينات فحسب، بل أيضا لتسجيل مواد الحياة الأخرى، كمجمل الكائنات الحية والخلايا بما في ذلك الخلايا الجذعية، وهذه أمثلة فقط ضمن قائمة غير مكتملة. لقد اتبعت

(1) "friend-of-the-court briefs"

(2) أمير دانمركي ارتقى عروش انكلترا والدانمارك والنروج يُعتقد أنه ولد عام 994 وتوفي عام 1035 (التحرير)

من يمتلك البراءات؟(*)



كبار مالكي البراءات	عدد البراءات*
University of California	1018
U.S. government	926
Sanofi Aventis	587
GlaxoSmithKline	580
Incyte	517
Bayer	426
Chiron	420
Genetech	401
Amgen	396
Human Genome Sciences	388
Wyeth	371
Merck	365
Applera	360
University of Texas	358
Novartis	347
Johns Hopkins University	331
Pfizer	289
Massachusetts General Hospital	287
Novo Nordisk	257
Harvard University	255
Stanford University	231
Lilly	217
Affymetrix	207
Cornell University	202
Salk Institute	192
Columbia University	186
University of Wisconsin	185
Massachusetts Institute of Technology	184

* حتى 2005/9/14



عدد البراءات السنوية في الولايات المتحدة ذات الصلة بالدنا أو الرنا

إن منح البراءات المرتبطة بالحموض النووية، والتي تشمل اللابشرية، أدرك ذروته في عام 2001، ثم انخفض (*الرسم البياني*)، ربما بسبب التشديد في المستلزمات. لقد أدرجت في الجدول أسماء مالكي الكثير من البراءات.

* حتى 2005/11/30

براءات الجينات البشرية

كما توضح لوحة الباي، فإن القطاع الخاص في الولايات المتحدة كان المالك الأكبر للبراءات في الجينات البشرية، والتي يبلغ عددها 688 23 جينة مسجلة في قاعدة بيانات المركز الوطني لمعلومات التقانة الحيوية، حتى الشهر 2005/4.

البراءات الأولى، التي حررت لتسجيل الجينات، عن كثب التقليد المتبع في تسجيل براءة المواد الكيميائية. ففي الواقع، الشركة «إنسايت» لا تمتلك الحقوق في جينة مُستقبِل الهِستامين الموجودة في جسمك، بل هي تمتلك فقط حقوق الشكل «المعزول والنقي» لهذه الجينة. وفي بعض الأحيان، استند فاحصو البراءات أو المحاكم إلى ما ورد في دستور الولايات المتحدة من تحريم للعبودية، كي يبرروا عدم إمكانية تسجيل براءة مضمونها إنسان ما أو أجزاء من جسده. إن البراءة بجينة معزولة ومستنسخة (منسَّلة) والبروتين الذي تنتجه توفر لمالكها الحقوق الحصرية لتسويق بروتين (كالأنسولين أو هرمون النمو البشري)، بالطريقة ذاتها التي تتيح لمالك مصنع مواد كيميائية تنقية الڤيتامين B مثلا وتقديم طلب تسجيل براءة بذلك.

جهد ضئيل وأصالة أقل(**)

بنتيجة الخطى السريعة لتطور التقنيات، انقلب، مرة أخرى، الوضع في التسعينات. فتقنيات السَّلسَلة العالية السرعة، التي نشأت في ذلك العقد من الزمن وعززت مشروع الجينوم البشري، قد أخلّت بهذه المطابقة التبسيطية مع براءة المواد الكيميائية.

ليس **ميسم التسلسل المعبَّر عنه** expressed sequence tag (EST) سوى قطعة من الدنا، تمت سلسلتها وتتألف من مئات قليلة من النكليوتيدات، تقع في إحدى نهايتي الجينة. ويمكن استعمال الميسم EST مسبارا لاصطياد كامل طول الجينة سريعا ضمن الصبغي (الكروموسوم). لذلك فقد بادر الباحثون إلى تقديم طلبات تسجيل براءة في الميسم EST، وكانوا أحيانا يعدون بالمئات. وقد عمدوا إلى ذلك من دون علم بحقيقة ما تفعله الجينة التي ينتمي إليها الميسم EST، إذ غالبا ما خمَّن أصحابُ الطلب الوظيفةَ البيولوجيةَ لقطع الجينات، عبر دراسة قواعد بيانات البروتينات والدنا. لقد علَّق بهذا الصدد <B. ألبرتس> [الرئيس السابق للأكاديمية الوطنية للعلوم] قائلا: «إن هذا ينطوي على القليل من الجهد، وانعدام الأصالة تقريبا.»

إنّ المسوِّغ لتسجيل تسلسلات الميسم من الدنا غير واضحة الوظيفة، هو إمكانية استخدام تسلسلات الميسم EST كأدوات بحثية. ولكن هذا السبب عينه هو الذي أقلق السواد الأعظم من المجتمع العلمي. فقد يطلب أصحاب براءات تسجيل مسابير الميسم EST، إلى الباحثين، الحصول على ترخيص رسمي لاستعمال هذه الأدوات، الأمر الذي يحملهم تكلفة إضافية ويضع حواجز أمام البحث الطبي. وقد

(*) Who Owns the Patents?
(**) Little Effort, less Originality

تسجيل الحياة ببراءات: التسلسل الزمني

لقد تصارع نظام البراءات ـ ممثلا بالمحاكم والفاحصين ـ باستمرار مع التساؤل: ما الذي يمثل فعلا إبداعا (ومن ثم يستحق التسجيل في براءة)؟ وما الذي يمثل مجرد محاولة لمصادرة قانون فيزيائي أو مادة من واقع العالم الطبيعي، فيكون مبررا لرفض طلب التسجيل؟

عام 1889

لقد حدد مفوض البراءات أن النباتات، حتى المستولدة صنعيا، هي من «نتاجات الطبيعة»، لذا فهي غير مؤهلة للتسجيل في براءة. لقد حاول صاحب الطلب (في هذه الحالة شركة إكس پارت لاتيمر Ex part Latimer) أن يسجل اليافا عُزلت من النبات في براءة، فرُفض طلبه.



السوسن

عام 1930

وافق كونغرس الولايات المتحدة على قانون براءة النباتات. القانون سمح بتسجيل براءة أنواع نباتية جديدة تتوالد لاجنسيا.

عام 1948

قضى حكم صادر عن المحكمة العليا أن ضم بكتيرات بعضها إلى بعض لا يُعدُّ إبداعا [فنك برونرس سيد كومباني *(شركة الإخوة «فنك» للبذور)* ضد كالو إنوكيولنت كومباني *(شركة كالو للقاحات)*].

عام 1971

بدأت سيتيس Cetus أعمالها أولَ شركة للتقانة الحيوية.

يتسبب أيضا في إعاقة تطوير طرق تشخيصية وعلاجية جديدة.

وفي مقالتهما التي نشرتها مجلة ساينس *Science* عام 1998، عبر كل من «R. أيزنبرگ» [من كلية حقوق جامعة ميتشگان] وكذلك «M. A. هيلر» [الموجود حاليا في كلية حقوق جامعة كولومبيا] عن قلقهما من نشوء كيان **المناقض للمشاركة** anticommon، وهو الكيان المناقض لحوض المعلومات المشتركة التقليدي، الذي يتشاركه بحرية الباحثون كافة. ولقد تعززت هذه المخاوف عبر المد الجري، لبعض هذه الطلبات، والتي لم تكتف بتسجيل تسلسلات الميسم EST، بل تجاوزت ذلك لتشمل التسلسلات المجاورة لها، وهذا يمكن أن يترجم نظريا، في إمكانية تحصيل حقوق ملكية صبغي ما بأكمله.

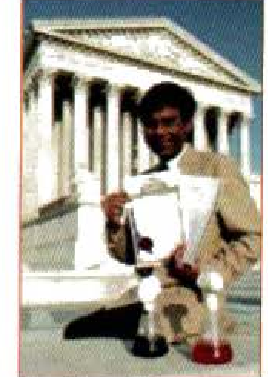
ولكن اعتراضا آخر، أكثر توظيفا لمفهوم البراءات تمثَّل في حقيقة أن استعمال الميسم EST لتحديد موضع الجينات يتم في قاعدة البيانات وليس في المختبر. فأهمية تسلسلات الميسم EST تكمن أكثر في كونها معلومات، وليس في كونها «عمليات أو آلات أو تصنيع أو تركيب مواد»، أي أشياء ملموسة مؤهلة للتسجيل في براءة. وقد سبق أن اعتبرت الأفكار المجردة، بحكم التقليد، خارج نطاق المواضيع التي تقبل التسجيل في براءة، مع أن عددا من القضايا التي بتت فيها المحاكم الفدرالية، في السنين العشر الأخيرة، قد جعل هذا التمييز أمرا عسيرا.

إن السماح بتسجيل براءة المعلومات، قد يقوض المؤثرات التي تحفظ التوازن، والتي تعد حجر زاوية مجمل هذه المنظومة. يجب على المتقدمين بطلبات التسجيل في براءة ما كمقايضة لعشرين عاما من الاحتكار، أن يصرحوا عن كيفية صنع الاختراع، بحيث يتمكن الآخرون من استعمال هذه المعرفة، لتحسين التقنيات الموجودة. إذًا، كيف سيعمل أسلوب التعويض التقليدي هذا، إذا ما كانت المعلومات التي كُشفت للآخرين، هي نفسها موضوع البراءة؟ وهل سيمثل مجرد استخدام تلك المعلومات، في سيرورة إجراءات البحث العلمي، مجازفة بانتهاك حقوق البراءة؟

واستجابة لبعض من هذه الضغوط، أصدر مكتب براءات الولايات المتحدة الأمريكية في عام 2001 دليلا جديدا نهائيا يوجه دارسي الطلبات نحو البحث عن «منفعة نوعية ومادية» لدى منحهم براءات التقنيات الحيوية. وفي معظم الفروع التِّقانية الأخرى، يعتبر مطلب كون البراءة مفيدة ثانويا، مقارنة بمعايير أخرى كتلك الخاصة بحقيقة كون الابتكار جديدا، لأن معظم المبتكرين لا يسعون إلى حماية ابتكارات لا قيمة لها. أما في ميدان التنافس على البراءات الخاصة بالحياة، فإن تقويم فائدة الابتكار أصبح حقيقة «مصفاة حرجة» في مسعى ضبط جودة البراءة. وتعيين سلسلة من الدنا ببساطة، للعمل مسبارا جينيا، أو واسما لصبغي ما، لا يكفي للوفاء بمستلزمات هذه القواعد الجديدة.

لقد كان لهذه التغييرات بالفعل أثرها. فحتى الآن، كما تبين من الأكاديمية الوطنية للعلوم، لم تُمنح براءات إلا لعدد ضئيل من تسلسلات الميسم EST. وأتى التأكيد المهم لمنهج مكتب البراءات الجديد في إنهاء البراءات العديمة الفائدة أو المفرطة في عموميتها، عبر قرار اتخذ في 2005/9/7 من قبل **محكمة الاستئناف الفدرالية المتنقلة للولايات المتحدة** U. S. Court of Appeals for the Federal Circuite (CAFC)، التي تنظر في حالات الاستئناف الخاصة بالبراءات. لقد أيدت هذه المحكمة رفض مكتب البراءات طلب شركة «مونسانتو» منحها براءة خمسة مياسم EST نباتية غير مرتبطة بمرض محدد، لأن هذه البراءة كانت ستعني كما جاء في كتاب رئيس قضاة المحكمة المتنقلة «P. ميشل» «رخصة صيد». فتسلسلات المياسم EST هذه المطالب بها، لا يمكن أن تستعمل إلا في سبيل الحصول على معلومات إضافية حول الجينات ذات الصلة.

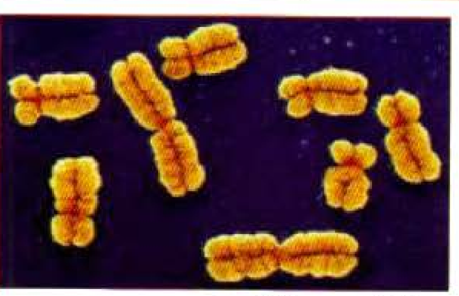
في الشهور الأخيرة، بدأت، بيانات تتعلق بالمناقض للمشاركة anticommons بالظهور. ففي مسح قامت به الأكاديمية الوطنية للعلوم، ضمن جزء من تقرير، **جني ثمار أبحاث الجينوميات والپروتيوميات** Reaping the Benefits of Genomic and Proteomic Research، الذي نُشر في أواسط الشهر 2005/11، تم جمع آراء 655



<A. شاكرابارتي>

عام 1980

قضت المحكمة العليا أن بكتيرة <A. شاكرابارتي> ليست من «نتاج الطبيعة»، لذا يمكن تسجيلها في براءة وكذلك صرحت المحكمة أن كائنات حية أخرى من «صنع الإنسان» قابلة أيضا للتسجيل في براءة. ووافق الكونغرس على قانون بيه-دول Bayh-Dole [تعديل قوانين البراءات والعلامات التجارية]، الذي سمح للجامعات بتأمين الترخيص الحصري لممتلكاتها الفكرية



صبغيات (كروموسومات) بشرية

عام 1988

حصلت جامعة هارڤرد على براءة في **الفأر السرطاني** OncoMouse: فأر يحمل جينة غرزت في جينومه، تؤهبه للإصابة بالسرطان

عام 1990

انطلاق مشروع الجينوم البشري



سلسلة الدنا

عام 1996

اتخذ علماء كل من القطاعين العام والخاص، من أنحاء العالم كافة، المنخرطين في سلسلة الدنا... قرارا ـ سمي قواعد بيرمبودا ـ ينص على «أنه ين... أن تكون جميع المعلومات المتعلقة بتسلسلات الحم... البشري، التي يتم جمعها في المراكز الممولة لسلس... جينوم الإنسان على نطاق واسع، متاحة مجانا وت... تصرف الجميع.»

باحثا اختيروا عشوائيا من الجامعات والمختبرات الحكومية والصناعة، حول تأثير البراءات الخاصة بالحياة في أبحاث الجينوميات والپروتيوميات وتطوير الدواء. وقد تبين في هذه الدراسة أن 8 في المئة فقط من الأكاديميين، يرون أن أبحاثهم، في العامين السابقين، كانت على علاقة بالبراءات التي يمتلكها الآخرون، في حين أن 19 في المئة لم يكونوا على علم فيما إذا كانت أبحاثهم قد تداخلت مع البراءات، و73 في المئة أعربوا عن كونهم في غنى عن استعمال براءات الآخرين. وانتهى التقرير باستنتاج أنه: «في الوقت الحاضر، يبدو أن مقدار حرية الوصول إلى البراءات أو إلى زاد المعلومات في الأبحاث الطبية الحيوية، نادرا ما يفرض عبئا ذا شأن على الباحثين الأكاديميين في هذا المجال.»

يلاحظ أن عدد البراءات التي يسعى إليها الأفراد بنشاط، قد هبط أيضا هبوطا جوهريا. ووفقا لتقرير حديث نشر في مجلة **نيتشر بيوتكنولوجي** *Nature Biotechnology*، فإن عدد البراءات المتعلقة بالحموض النووية أو بالمصطلحات الوثيقة الصلة بها، قد وصل إلى أقصاه في عام 2001 مع ما يقرب من 5004 براءات، ثم هبط في السنوات الأربع التالية. وهذا النزوع قد يكون جزئيا نتيجة تشدد مكتب البراءات في معيار المنفعة [*انظر الإطار في الصفحة 64*].

ربما يعزى بعض هذا الانخفاض إلى واقع نجاح حركة تبنت مبدأ المصدر المفتوح في العلوم الطبية الحيوية، كتلك التي اعتمدت في تقنيات المعلوماتية. ففي عام 1996، ابتكر علماء، من كافة أنحاء العالم ينتمون إلى القطاعين العام والخاص، ما أصبح يعرف **بقواعد برمودا** Bermuda Rules وهذه تنص على أن جميع المعلومات الخاصة بتسلسلات **الدنا** DNA المتصلة بمشروع الجينوم البشري يجب أن توضع على الفور في متناول الجميع. وفيما بعد، تم أيضا تشجيع تشارك البيانات في مشاريع أخرى واسعة النطاق، مثل مشروع **اتحاد تعدد أشكال النكليوتيد الأحادي** Single Nucleotide Polymorphism Consortium، الذي رسم خريطة الاختلافات الجينية في الجينوم البشري. وفي بعض الحالات، استصدر الباحثون براءات في إجراء دفاعي، كي يضمنوا أن شخصا آخر لن يجمع هذه المعرفة لنفسه. وتسعى كل من الشركات ومؤسسات الصحة العامة، التي تعمل على اكتشاف وسلسلة فيروس **السارز** SARS، أي **المتلازمة الرئوية اللانمطية الوخيمة** sever atypical respiratory syndrom، إلى تشكيل «جميعة براءات» كي يحول دون نشوء ترخيص حصري لجينوم السارز.

لقد أحبط تبني القطاع العام لهذا المنهج فكرة تأسيس عمل يعتمد على قاعدة معلومات عامة. إن كلا من «سيليرا للجينوميات» و«إنسايت» ـ وهما شركتان رائدتان في حقل الجينوميات ـ أعادتا بناء هيكليتيهما في السنوات المبكرة من القرن الجديد لتصبحا شركتي اكتشاف أدوية. ولكن <J. C. ڤنتر>، الذي كان بمثابة رأس حربة جهود القطاع الخاص لسلسلة الجينوم البشري، غادر الشركة «سيليرا» وتحول إلى ناقد صريح. فقد علق <ڤنتر> في مؤتمر علمي عام 2003 قائلا: «لقد أثبت التاريخ أن براءات الجينات لم تكن تساوي قيمة الورق الذي كتبت عليه، والوحيدون الذين كسبوا المال من هذه البراءات هم محامو البراءات.»

كذلك فإن تكتلا للبراءات يعرقل الأبحاث الأساسية، قد فشل أيضا في التبلور، ذلك لأن الأكاديميين يميلون إلى عدم احترام الملكية الفكرية. فالأبحاث اللاتجارية في نظرهم مستثناة. مع أن قرارا اتخذته المحكمة CAFC في عام 2002 بشأن حالة <M. ٧ ديوك>، جرد الجامعات والمعاهد الأخرى اللاربحية من أي امتياز أو وضع خاص. لقد قررت المحكمة أن الأبحاث اللاتجارية تعزز «الأهداف التجارية الشرعية» للجامعة. وهكذا، فإن كلا من أدوات البحث ومواده ـ وقد يتضمن ذلك الدنا ـ لا تستحق أي إعفاء (باستثناء إعفاء يتناول الأبحاث الخاصة بتحضير الطلب بهدف




فاران سرطانيان

2000

...علان عن مسودة مبدئية للجينوم البشري

...رئيس الولايات المتحدة <بيل كلينتون> ورئيس وزراء ...نيا <توني بلير> بيانا بأن «البيانات الأساسية، غير ...ة، عن الجينوم البشري، بما في ذلك تسلسل دنا الإنسان ...لافاته، يجب أن تكون متاحة مجانا للعلماء في كل مكان.» ...ر هذا البيان عانت أسهم التقانة الحيوية هبوطا حادا

عام 2001

أصدر مكتب البراءات في الولايات المتحدة دليلا نهائيا، رُفعت فيه معايير النفعية وكم تفاصيل الابتكار التي يتعين الإفصاح عنها، والضرورية بشكل جزئي، للحصول على البراءات. وهذا الإجراء جاء نتيجة لكثرة طلبات البراءة على شدف الجينات

عام 2002

المحكمة العليا الكندية تنظر في استئناف، أدى إلى رفض منح براءة الفأر الورمي لهارفرد

عام 2003

اتخذ الكونغرس تدبيرا احتياطيا في ميزانية مكتب البراءات، محرما منح براءات في «الكائنات الحية البشرية»؛ وهو إجراء تنظيمي لسياسة المكتب القائمة

عام 2005

أصدر مكتب البراءات رفضا نهائيا لطلب تسجيل براءة تقدم به <S. نيومان> و<J. ريفكين> لخيمر افتراضي هجين جزء منه بشري وجزء آخر حيواني. لقد أراد هذان المعارضان لتسجيل الكائنات الحية في براءات، الحصول على براءة تمنع أيا كان من لتكوين حيوان مماثل في المستقبل



خيْمر chimera

تقديم ملف خاص بعقار جديد)

وعلى العموم، ليس لدى أصحاب البراءات نية في طرق أبواب المختبرات بشدة، بغية تقصي الانتهاكات. في أعقاب قرار «مادي»، وطبقا للمسح الذي أجرته الأكاديمية الوطنية للعلوم، ارتفع قليلا معدل الملاحظات من أصحاب البراءات. إلاّ أن هذه الزيادة لم تحدث خرقا رئيسيا. ولكن تنامي الوعي بغياب الإعفاء قد يؤدي إلى خلق مناخ بحثي أكثر تقيدا، وهو ما دفع هيئة مستشاري الأكاديمية الوطنية للعلوم إلى توجيه توصية للكونغرس، لتشريع إعفاء قانوني خاص بالبحث العلمي.

قد تبدأ العقبات الرئيسية في وجه الملكية الفكرية بالظهور عند بلوغ الجينوميات والبروتيوميات ـ وهما حقلان تتم فيهما دراسة شاملة لعدد كبير من الجينات والبروتينات ـ مرحلة النضج. وقد لاحظت الهيئة الاستشارية للأكاديمية الوطنية للعلوم: «أن العبء على كاهل الباحث، الذي ينوي الحصول على حقوق ملكية فكرية تغطي تلك الجينات أو البروتينات، قد يصبح غير مقبول، تبعا لدرجة اتساع المجال الذي تشمله البراءة، والكيفية التي يستجيب بها أصحاب البراءة، تجاه الانتهاكات.»

إن جني ثمار الجينوميات والبروتيوميات في إطار تشخيص طبي ودوائي لايزال في بداياته فقط. وتقول <A. B. كولفيلد> [المستشارة القانونية العامة في أفيميتريكس Affymetrix (شركة الرقائق الجينية، التي عارضت تسجيل الدنا في براءات، لأن ما سينتج من هذه البراءات سيعيق البحث)] «إن الاصطدام بالمواضيع المتعلقة بالملكية، سيبرز فعلا بمجرد اقتراب تلك الفعاليات من السوق.»

وتقول <كولفيلد> إن هنالك أمثلة واقعية عن براءات واسعة الطيف جدا، أضحت فعليا عبئا على كل من الصناعة والأكاديميا. إن جينيتيك تكنولوجيز ليميتد Genetic Technologies Ltd شركة أسترالية تملك براءات توظفها للحصول على ترتيبات ترخيص خاصة من كل من الشركات والجامعات التي تجري أبحاثا في الجزء غير المكود من الجينوم. إن اتساع نطاق هذه البراءات، والتي تغطي الطرق المعتمدة من أجل الحصول على معلومات عن 95 في المئة تقريبا من الجينوم، وهو الذي يطلق عليه أحيانا، على نحو خاطئ، **الدنا الرُّمم (السُّقط)** junk DNA، قد يجعل معظم العلماء لا يصدقون ما يرونه. ومهما يكن، فإن «جننتيك تكنولوجيز» قد بدأت فعلا بإجراء ترتيبات ترخيصية مع عملاقتي التقانة الحيوية في الولايات المتحدة: شركتي جينزايم Genzyme وأبليرا Applera، أمهات شركتي «سيليرا» وأبلايد بيوسيستم Applied Biosystems.

الحفاظ على النظام العام(*)

إن صانعي السياسة والمحاكم الأمريكية لم يلجؤوا عموما، فيما يتعلق بمالكي البراءات، إلى أسلوب المنع أو الكبح فيما يتعلق باستثمار التقانات الحيوية الجديدة تجاريا. ومع أن الهيئات الاستشارية الحكومية غالبا ما تناولت المسائل الأخلاقية والفلسفية والاجتماعية، فإن هذه الاعتبارات نادرا ما أدخلت إلى باحة القرار الفعلي الذي يحدد فيما إذا كان ينبغي توسيع الحماية من خلال براءات تشمل الكائنات الحية. في قضية <شاكرابارتي>، سوّغت المحكمة العليا قرارها جزئيا من خلال اقتباس بيان أدلى به أول مفوض للبراءات، <T. جيفرسون> [الرئيس الثالث للولايات المتحدة] يقضي بأنه «يجب أن يلقى الإبداع تشجيعا حرا.»

تمثّل أحد التساؤلات الواضحة، التي أثارها القرار الخاص بقضية <شاكرابارتي>، بما يلي: أين يقف تسجيل براءة الحياة؟ هل سيمتد ليشمل مخلوقات أعلى مرتبة من سوية **الزائفة** Pseudmonas المتدنية في شجرة تشكل الأنواع؟ ففي عام 1988، وبعد ثماني

(*) Keeping the *Order Public*

سنوات من قضية «شاكرابارتي»، أصدر مكتب البراءات البراءة ذات الرقم 866 736 4، براءة خاصة بأنكوماوس هارڤرد Oncomouse (فأر هارڤرد الورمي)، الذي يحتوي على جينة تؤهب الحيوان للإصابة بالسرطان، ويمثل أداة قيمة في البحث حول هذا المرض. ونستطيع تتبع المسوّغ لمنح البراءة، مباشرة، عبر حجج القضاة التي وردت في قضية «شاكرابارتي» والتي تنص على أن إضافة الجينة المسرطنة يعني أن هذا فأر «مبتكر» من قبل الإنسان.

لم تعالج جميع بلدان العالم، موضوع تسجيل الكائنات الحية العليا، من خلال التحيز نحو مبدأ المنفعة: الذي برز لدى محاكم الولايات المتحدة وبيروقراطييها. فلقد توصلت كندا منذ وقت جد قريب إلى قرار مختلف كليا، تناول الحيوان الثديي الصغير الذي يحمل جينة إضافية. فعبر الاستئناف، رفضت المحكمة العليا الكندية براءة فأر هارڤرد الورمي. وقررت المحكمة في عام 2002 أن الوصف «تركيب المادة» - الذي هو في جوهره منتج مُختَرع، أهل للتسجيل في براءة - يجب أن لا يطبق على الفأر. ولقد أكد القاضي «M. باستاراخ»: «إن حقيقة كون أشكال الحياة الحيوانية تمتلك أنواعا عديدة من السمات الفريدة، التي تسمو فوق المادة الخاصة المكونة لها، تجعل من الصعب وضع هذه الأشكال العليا من الحياة في مفهوم يقتصر على تحديدها كمجرد «تراكيب للمادة»؛ إنها جملة غير ملائمة، كما يبدو، لوصف أشكال الحياة العليا.»

وكذلك كانت أوروبا أكثر حذرا من الولايات المتحدة فيما يتعلق بتبني الفأر الورمي. فلقد ضيق مكتب البراءات الأوروبي المجال الذي شملته براءة الفأر الورمي، حتى اقتصر على الفئران من دون القوارض الأخرى. وتمكن هذا المكتب من فعل ذلك عبر استشهاده بفقرة شرطية وردت في قانون البراءات، ولا يوجد ما يقابلها في القوانين الأمريكية، وهي الفقرة 53 من الاتفاقية الأوروبية للبراءات التي تحظر إصدار براءات تهدد «النظام العام أو الأخلاق».

كما عمد المشرعون الأوروبيون إلى تحجيم قوة مستند براءة جينات الثدي السرطانية، التي تمتلكها شركة ميرياد جينيتكس Myriad Genetics والتي قاعدتها في ولاية يوتا. لقد ثبّطت براءات الجينات التشخيصية، أكثر من غيرها من الدنا، في الولايات المتحدة كلا من البحث والطب السريري. فقد استعملت «ميرياد» براءاتها في منع المراكز الرئيسية للسرطان من استنباط اختبارات رخيصة - من **خلطة بيتية** home brew - تتيح الكشف عن جينتي سرطان الثدي BRCA1 و BRCA2. أما في أوروبا فقد تحدى ائتلاف يمثل عددا من المعاهد البحثية براءات «ميرياد»، مبطلا بعضها ومقيدا غيرها. وبسبب هذا التقليم الراجع لحقوق الشركة «ميرياد»، أصبحت هذه الاختبارات حاليا حرة، وفي متناول الجميع، عدا نساء اليهود الأشكيناز (اليهود الغربيين)، اللواتي لا يزال يتوجب عليهن دفع أجور الترخيص. هذه الطفرات، التي لا تزال مشمولة في البراءات المتبقية للشركة «ميرياد»، أكثر شيوعا لدى النسوة من الأشكيناز. هكذا، وبحكم القانون، يتعين على الطبيب أن يسأل المرأة، فيما إذا كانت بهوية أشكينازية؛ وهو الأمر الذي أثار سخرية إخصائيي الوراثة.

إن تكرار هذه المشاهد الأخيرة في الولايات المتحدة أمر بعيد الاحتمال. فقد نوهت المحكمة العليا في حالة «شاكرابارتي» بأن نمط التساؤلات الذي أثارته مجموعة «ريفكين»، يجب أن يوظف من أجل الكونغرس، إلا أن معظم المساعي التشريعية قد أخفقت حتى الآن. ويبدو أن أي تغير جوهري قد يطرأ، سيتم على الأرجح عبر إعادة مراجعة مضامين القرار المفتاحية، المرتبطة بقضية «شاكرابارتي» في المحكمة العليا. هذه المضامين تتمثل في تعريف الخط الفاصل الذي ينزاح باستمرار، والذي يفصل بين قوانين الطبيعة وعالم الابتكار.

وينتظر المحللون القضائيون بتلهف قرارا للمحكمة العليا، يُتوقع أن يُتخذ هذا العام، قرارا يساعد على توضيح مدى إمكانية تراجع الحدود التي تحيط بما يعتقد أنه عصي على البراءة. فقد وافقت المحكمة العليا، على النظر في الدعوى التي أقامتها الشركة «لابوراتوري كوربوريشن أوف أمريكا هولدينكز» ضد الشركة «ميتابولايت لابوراتوريز إنكوربوريشن» التي ستحدد فيما إذا كان الترابط الصرف بين معدل عال من الحمض الأميني «هوموسستئين» مع عوز نوعين من الفيتامين B يمكن أن يُخضَع لبراءة إذا كان لجهة معينة أن تطالب بحق احتكار علاقة علمية أساسية مستخدمة في معالجة طبية، بحيث إن أي طبيب سيضطر لانتهاك البراءة، بمجرد استخدام العلاقة بعد اطلاعه على نتائج اختبار ما،» وذلك على حد قول الشركة المدّعية. وطلب البراءة يغطي العلاقة فقط، وذلك بمعزل عن التجهيزات الكهربائية والميكانيكية التي تستعمل لإجراء الاختبار.

ولهذه القضية أهمية كبيرة، ليس فقط في الصناعة التّقانية الحيوية، التي تنامت لديها قيمة المعلومات الفجة، بل أيضا في صناعة تقانة المعلومات نفسها؛ حيث إمكانية تسجيل البرمجيات وطرائق العمل في براءة هي أيضا موضع نزاع. وكما يقول «K. A. راي» [وهو أستاذ القانون في جامعة ديوك]: «سيكون لذلك تأثير واضح، ليس فقط في تسجيل الدنا في براءات، وإنما أيضا في مجالات ناشئة جديدة مثل التقانة النانوية والبيولوجيا التركيبية.»

إن حيثيات القضية ستبرهن على ضرورة أن تسود تعاليم «جيفرسون» التي تشجع على الإبداع. ولكن صدى القضية يتناغم وقضية «شاكرابارتي» والقضية القانونية التي سبقتها. ومع تقدم التقانة يتعين على المحاكم أن تتعاطى مرارا وتكرارا مع السؤال: «هل أن كل شيء على الأرض من صُنع الإنسان يمكن تسجيله في براءة اختراع؟». فهل ستكون «السمكرة» بجينة واحدة في فأر، أو حتى مجرد الكشف عن علاقة معكوسة بين جزيئين، كافية على الدوام لمنح «مخترع» احتكارا محدودا لعقدين من الزمن؟ ■

مراجع للاستزادة

Who Owns Life? Edited by David Magnus, Arthur Caplan and Glenn McGee. Prometheus Books, 2002.

Intellectual Property Landscape of the Human Genome. Kyle Jensen and Fiona Murray in *Science*, Vol. 310, pages 239-240; October 14, 2005.

Reaping the Benefits of Genomic and Proteomic Research: Intellectual Property Rights, Innovation, and Public Health. Committee on Intellectual Property Rights in Genomic and Protein Research and Innovation. National Research Council, National Academies Press, 2005.

Scientific American, February 2006

تتمة الصفحة 59 (برمجيات تُصمَّم بحيث يُعوَّل عليها)

كشفت الأداة ألُويْ عن مواطن خلل مهمة في تصاميم برمجيات منشورة.



تفحّصت الأداة ألُويْ برنامجا حاسوبيا صمم ليعثر على طابعة في شبكة لاسلكية.

صميم الكثير من المنظومات غير الموثوق بها، أو المعقدة تعقيدا يفوق الضرورة.

والمنظومات التي تعتمد على برمجيات بُنيت على تجريدات بسيطة ومنيعة سوف تكون سهلة الاستخدام أيضا. انظر مثلا كيف يسّر **إصدار التذاكر إلكترونيا** e-ticketing السفر الجوي، وكيف أن التكويد العالمي للمنتجات جعل التسوّق أسهل، وكيف أن المؤتمرات الهاتفية التي تستخدم الرقم 800، جعلت عقد المؤتمرات من بُعد ممكنا. إن كلاًّ من هذه الابتكارات مستمد من تغيير في التجريدات الأساسية المتضمَّنة في برمجياتها.

السبيل إلى الاعتمادية(*)

ثمة أدوات مشابهة للأداة ألُويْ تُستخدم حاليا، في المقام الأول، في البحث وفي التطبيقات الصناعية المتقدمة. فقد استُخدمت هذه التقانة لاستقصاء بنى جديدة لمنظومات المقاسم الهاتفية، ولتصميم مُعالجات طيران آمنة ضدّ العابثين، ولتوصيف سياسات التحكم في النفاذ إلى شبكات الاتصال. وقد استخدمناها لفحص أدوات برمجية منيعة واسعة الاستخدام، من قبيل بروتوكولات لإيجاد طابعات ضمن الشبكة، وأدوات لمزامنة الملفات بين التجهيزات المحوسبة.

وإضافة إلى ما سبق، فإن الأداة ألُويْ كشفت عن خلل خطير في تصاميم برمجيات منشورة ـ مثل بروتوكول حيويّ للإدارة قصد به تطبيق قواعد خاصة للنفاذ اعتمادا على عضوية في مجموعة معينة، تبيّن بعدئذ أنه يسمح بالنفاذ لأعضاء سابقين كان من الواجب ألا يسمح لهم بالنفاذ. ومن الجدير بالذكر أن كثيرا من المبرمجين الذين استخدموا الأداة ألُويْ قد ذُهلوا من عدد العيوب التي يكشفها في تصاميم حتى أبسط تطبيقاتهم.

وهي على الأرجح، مسألة وقت فحسب قبل أن يتم تبني أدوات مثل الأداة ألُويْ على نطاق أوسع في صناعة البرمجيات. وإن التحسينات في الحلاّلات SAT الأساسية سوف تجعل أدوات التحليل أسرع وأكثر قدرة على معالجة النظم الكبيرة جدا. وفي غضون ذلك، سوف يقوم جيل جديد من مصممي البرمجيات، الملمّين بهذه الطرائق، بإدخالها في عملهم. إن رواج النمذجة في تزايد، وبخاصة بين المديرين المتعطشين لرؤية بعض الوصف لتصميم منظومة برمجية بما يتجاوز الكود ذاته.

وفي مرحلة ما، قد يأتي وقت نصبح فيه البرمجيات جوهرية لتحسين عمل البنية التحتية من يوم لآخر إلى حد لا يمكن معه قبول البرمجيات الرديئة. حتى إن الحكومات قد تضع، نتيجة لذلك، تشريعات فحص وترخيص تفرض استخدام تقنيات عالية الجودة في بناء البرمجيات. وقد يأتي يوم تصبح فيه المنظومات البرمجية منيعة حقا ويتيسر التنبؤ بها كما يسهل استخدامها ـ انطلاقا من التصميم. ■

(*) The Road to Reliability

المؤلف

Daniel Jackson

يرأس مجموعة تصميم البرمجيات في مختبر علم الحاسوب والذكاء الصنعي artificial intelligence *في معهد ماساتشوستس للتقانة* (MIT). *أما اهتمامه الرئيسي فهو هندسة البرمجيات، وبوجه خاص، تصميم وتوصيف وتحليل البرمجيات الخاصة بالنظم الحرجة، أي التي يُعتبر حسن أدائها ذا أهمية بالغة. حصل «جاكسون» على الماجستير في الفيزياء من جامعة أكسفورد، وعلى الماجستير والدكتوراه في علم الحاسوب من معهد ماساتشوستس. وكان قد درّس في جامعة كارنيكي ميلون قبل التحاقه بوظيفته في هذا المعهد.*

مراجع للاستزادة

Exploring the Design of an Intentional Naming Scheme with an Automatic Constraint Analyzer. Sarfraz Khurshid and Daniel Jackson in *Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Automated Software Engineering, Grenoble, France.* IEEE, September 2000. (Describes application of Alloy to the design of a system for finding resources on a network.)

Automating First-Order Relational Logic. Daniel Jackson in *Proceedings of the 8th ACM SIGSOFT International Symposium on Foundations of Software Engineering: Twenty-First Century Applications.* ACM Press, 2000. (Explains Alloy's analysis.)

A Micromodularity Mechanism. Daniel Jackson, Ilya Shlyakhter and Manu Sridharan in *Proceedings of the Joint 8th European Software Engineering Conference (ESEC) and 9th ACM SIGSOFT Symposium on the Foundations of Software Engineering.* ACM Press, 2001. (Explains key concept in the latest version of Alloy language.)

Alloy: A Lightweight Object Modeling Notation. Daniel Jackson in *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, Vol. 11, Issue 2, pages 256–290, April 2002. (Original description of Alloy.)

Software Abstractions: Logic, Language, and Analysis. Daniel Jackson. MIT Press, 2006.

Daniel Jackson's Web site: **http://people.csail.mit.edu/dnj/**

Alloy Web site: **http://alloy.mit.edu**

Scientific American, June 2006



المجلد 22 ـ العددان 9/8
أغسطس/سبتمبر 2006

Majallat AlOloom

لماذا تبدو بعض الحيوانات ذكية جدًّا؟[*]

يوحي السلوك الاستثنائي للسِّعلاوات (قرود الأورانج أوتان) بإجابة مدهشة عن هذا السؤال.

‹› فان شيل›

أمٌ وصغيرها من السّعلاوات في سومطرة.

مع أننا نحن البشر نؤلف الكتب المدرسية وقد يُشتبه بحق بتحيزنا، فقلة منا تشك في أننا أذكى المخلوقات على هذا الكوكب. صحيح إن العديد من الحيوانات تمتلك مؤهلات معرفية خاصة تسمح لها بالتفوق في بيئاتها الخاصة. لكن هذه الحيوانات في الغالب لا تستطيع حل المشكلات المستحدثة ولئن كان بعضها يفعل ذلك، ونحن ندعوها حيوانات ذكية، فما من أحد منها سريع البديهة كما هي حالنا.

ما الذي رجّح تطور مثل هذه القدرة العقلية المتميزة لدى البشر، أو على وجه الدقّة لدى أسلافنا **أشباه البشر** hominids؟ إن إحدى مقاربات الإجابة عن هذا السؤال تتمثل في دراسة العوامل التي ربما شكلت المخلوقات الأخرى التي تبدي ذكاء عاليا، كما تتمثل في معرفة ما إذا كانت نفس هذه القوى قد مارست فعلها في أسلافنا. فعلى سبيل المثال، تحلّ بضعة من الطيور والثدييات (غير البشر) مشكلاتها بصورة أفضل بكثير من غيرها؛ ونذكر في هذا الصدد الأفيال والدلافين (الدرافيل) والببغاوات والغربان. لكن البحث في أقرب أقربائنا، وهم القرود الضخمة، يحتمل بالتأكيد أن يكون أكثر إيضاحا.

لقد اقترح العلماء العديد من التفسيرات بخصوص الذكاء في **الرئيسات** primates، وهي السلالة التي ينتمي إليها البشر والقرود العليا (إضافة إلى النسانيس والليمورات و**البليديّات** Lorises) وقد توصّلت دراسة

(*) WHY ARE SOME ANIMALS SO SMART?

أعدّتها مجموعتي البحثية على قرود السّعلاة منذ ما يزيد على ثلاثة عشر عاما وبصورة غير متوقعة إلى تفسير نظنه يقطع شوطا بعيدا في الإجابة عن السؤال.

نظريات غير مكتملة[*]

تمنح إحدى المحاولات ذات التأثير النافذ في شرح ذكاء الرئيسات ثقتها بدور في الحياة الاجتماعية يتعلق بتطور المؤهلات المعرفية القوية. وتوحي نظرية الذكاء الميكيافيلية هذه بأن النجاح في الحياة الاجتماعية يعتمد على إنماء أكثر العلاقات نفعا، وعلى القراءة السريعة للوضع الاجتماعي. ونذكر مثالا على ذلك، خيارنا إذا ما كنا سنهبّ لنجدة حيوان أليف يهاجمه حيوان آخر. وفي هذا الصدد فإن متطلبات الجماعة تعزّز الذكاء، لأن أكثر الكائنات ذكاء هي التي تكون أكثرها نجاحا في اعتماد الخيارات التي تقي الذات، ومن ثمّ تبقى على قيد الحياة لتمرر جيناتها إلى الجيل التالي. ولكن قد لا تكون الصفات الميكيافيلية متساوية النفع لدى الأنسال الأخرى أو لدى الرئيسات، ومن ثم فإن هذه الفكرة وحدها لن تكون مقنعة.

يستطيع الفرد أن يتخيل بسهولة العديد من القوى الأخرى التي تعزّز تطوّر الذكاء، مثل حاجة الشخص إلى أن يكد في العمل من أجل طعامه، وفي هذا الموقف فإن المقدرة على أن يتصور الفرد كيف يستخرج بمهارة الطعام الخفي أو أن يتذكّر المواضع المتبدّلة باستمرار للحاجات الغذائية الملحّة يُعدُّ أمرا مفيدا. وبذلك فإن مثل هذا الذكاء سيتحقق عبر تمرير مزيد من الجينات إلى الأجيال التالية.

أما تفسيري الخاص، الذي لا يتناقض مع هذه القوى الأخرى، فإنه يشدّد على التعلم الاجتماعي. فلدى البشر، يتطوّر الذكاء مع مرور الزمن. فيتعلم الطفل أولا تحت إشراف البالغين الصبورين، وإذا لم يتلق موارد اجتماعية قوية (ذات طبيعة ثقافية) فإنه حتى لو كان ذا استعداد عبقري سينتهي إلى شخص فجٍّ أخرق حينما يبلغ سن البلوغ. ولدينا الآن أدلة على أن عملية التعلّم الاجتماعي هذه تنطبق أيضا على القرود المتقدمة، وسوف أفنّد بشكل عام أن الحيوانات الذكية هي ذاتها ذات الثقافة: فهي تتعلم أحدها من الآخر حلولا مبتكرة للمشكلات البيئية والاجتماعية. وباختصار فإني أقترح أن الثقافة تعزّز الذكاء.

لقد توصلت إلى هذا الافتراض بطريقة غير مباشرة، وذلك عن طريق المستنقعات على الشاطئ الغربي لجزيرة سومطرة الإندونيسية حيث كنت مع زملائي ندرس السّعلاوات (قرود الأورانج أوتان). فالسّعلاة هي القرد الآسيوي الضخم الوحيد المحتجز في جزيرتي بورنيو وسومطرة والمعروف بشيء من العزلة. وبمقارنة السعلاة بقريبها الأكثر شهرة «الشمپانزي الأفريقي» يتصف هذا القرد الأحمر (أي السّعلاة) بالهدوء بدلا من الفعالية المفرطة وبالتحفظ الاجتماعي بدلا من الانفتاح المرح. وما اكتشفنا في السّعلاوات حتى الآن إنما هو شروط تسمح بازدهار الثقافة



يقدّم مستنقع كلويت، موئلاً مزدهرا للسّعلاوات (قرود الأورانج أوتان). وقد اكتشف المؤلف وزملاؤه أنه في مثل هذه التوليفة الخصبة تعيش القرود المعروفة عموما بحياتها الإفرادية حياة اجتماعية تدعو إلى الدهشة.

تقانة في المستنقع[***]

لقد اجتذبنا المستنقع مبدئيا لأنه يؤوي أعدادا كبيرة من السّعلاوات بشكل غير متكافئ، خلافا لما عليه الحال في غابات الأراضي الجافة الخاصة بالجُزُر والتي تمثل موئلا مستنقعيًا بوافر طعاما للقرود على مدار العام، وبذلك يُعيل جماعات واسعة منها. لقد عملنا في منطقة قريبة من منطقة سواق باليمبنگ Suaq Balimbing في مستنقع كلويت Kluet (*انظر الخريطة في الأعلى*)، والتي ربما كانت فردوسا للسّعلاة ولكنها بوحلها اللزج وبوفرة الحشرات اللادغة وإرهاق حرارتها ورطوبتها كانت جحيما للباحثين.

لقد أدهشنا واحد من أول اكتشافاتنا في هذا المشهد البعيد الاحتمال: ذلك أن سعلاوات منطقة سواق هذه ابتكرت واستعملت تشكيلة منوعة من الأدوات. ومع أن القرود الحمراء الأسيرة شغوفة باستعمال الأدوات فإن أهم ملمح لوحظ في استخدام الأداة لدى السّعلاوات البرية كان انعدام ذلك الاستخدام. لقد عُرِفت سعلاوات منطقة سواق عن أدواتها لغرضين رئيسيين: الأول كونها تصطاد النمل والأرضة termites (وبخاصة عسل النحل غير اللاسع) أكثر من

نظرة إجمالية/ الوشيجة السّعلاواتية[**]

- **لقد اكتشف المؤلف استخداما موسعا للأداة في مستنقعات سومطرة مع الإشارة إلى أنه ما من أحد شاهد السّعلاوات تستخدم أدوات في البرّية من قبل.**
- **هذا الاكتشاف غير المتوقع يوحي للمؤلف حلاً للغز استمر مدة طويلة حول سبب كون بعض الحيوانات بهذه النباهة.**
- **إنه يقترح أن الثقافة هي المفتاح: ذلك أن المختصين بعلم الرئيسات يعرّفون الثقافة بأنها القدرة على التعلّم عبر مشاهدة مهارات ابتكرها آخرون. وتستطيع الثقافة أن تطلق العنان لإنجازات تتزايد باستمرار وتدفع النوع الحيواني إلى مزيد متعاظم من الذكاء.**

(*) Incomplete Theories
(**) Overview: The Orangutan Connection
(***) Technology in the Swamp



نقضي السعلاوات معظم حياتها بدون صنع ادوات او استخدامها. اما السعلاوات الحمر في منطقة سواق فإنها تعتبر استثناء، إذ إنها تبتكر تشكيلة متنوعة من الأدوات وإحدى اكثر هذه الأدوات شيوعا هي العصا (في *الأعلى يمينا*) تجهزها لجمع النمل والأرضة وبخاصة العسل. فبدون الأداة (اقصى *اليسار*) غالبا ما تخفق في استعادة العسل من ثقب في شجرة عن طريق العض مثلا. اما سعلاوات منطقة سواق فإنها على النقيض من ذلك، إذ تُدخل الأداة في الثقب ممسكة بها في الفم (*السهم في اليمين*) وتحركها برفق للخلف والأمام ثم تسحبها للخارج كي تلحس العسل (*اقصى اليمين*).

نظيراتها السعلاوات الاخرى في أي مكان أخر. فهي غالبا ما تلقي نظرات ثاقبة على جذوع الشجر باحثة عن حركة مرور الهواء، عبر ثقوب دقيقة عليها، وبمجرد أن تكتشف الثقوب تركّز بصرها عليها. وبعد ذلك تستكشفها يدويا بإصبع واكزة ولاقطة ولا تكون الإصبع في أبعادها ذات طول مناسب فتجهّز السعلاة أداة عصوية الشكل، وبعد إدخال العصا بعناية يحركها هذا القرد برفق نحو الأمام والخلف ثم يسحبها أخيرا ويلحسها ثم يعيد غرزها مرة أخرى. وتتم معظم هذه المداولة والقرد مطبق بأسنانه على الأداة. ويضاف إلى ذلك أن القرد لا يستخدم إلا اكبر الأدوات في هدم كتل أعشاش الأرضة

أما السياق الثاني الذي تستخدم فيه قرود منطقة سواق الادوات فإنه يضم ثمار شجرة *النيسيا Neesia*، وتعطي هذه الشجرة قرونا خشبية خماسية الزوايا تصل إلى عشر بوصات طولا واربع بوصات عرضا، وتمتلئ هذه القرون ببذور بنية اللون بحجم فول ليما (نوع من الفول المتسلق)، وهي بسبب احتوائها على 50% دهونا تُعد ذات قيمة غذائية عالية وهي نادرة وتشكّل حاجة مطلوبة في بيئة طبيعية ليس فيها ماكولات جاهزة. وتحمي هذه الشجرة بذورها بغلاف شديد الصلابة، ولكن حينما تنضج البذور يبدأ الغلاف بالتشقق منفتحا. وتتسع الشقوق بالتدريج كاشفة عن صفوف ملساء مرتبة من بذور نمت لها **قصرات** arils حمراء دقيقة تحتوي على 80% دهونا. ولصدّ ملتهمات البذور بعيدا تملأ كتلة من الابر الحادة كالموسى تلك القشرة. وهنا تنزع السعلاوات اللحاء في قطاع منطقة سواق عن الفروع المستقيمة التي تمسكها في أفواهها وتدخلها في شقوق غلاف البذور، وبتحريك هذه الأداة إلى الأعلى والأسفل داخل الشق يفصل الحيوان البذور عن سيقانها، وبعد هذه المناورة يستطيع أن يسقط البذور مباشرة إلى فمه. وفي أواخر الموسم لا تتغذى السعلاوات الاّ بأغلفة البذور الحمراء مستخدمة التقنية نفسها في الوصول إليها بدون إيذاء.

إننا نجد كلتا الطريقتين في تكييف العصا للاغتذاء معمَّمتين في منطقة سواق. أما قيام السعلاة باصطياد النمل في ثقوب الشجرة فلا يحدث الا بين الفينة والفينة ويستمر لدقائق قليلة. ولكن عندما يتم نضج ثمار شجرة *النيسيا* فإن هذه الفرود تكرس معظم ساعات سيرها في البحث عن البذور أو الأغلفة الخارجية ونراها تنمو أكثر بدانة وصقلا يوما بعد يوم

لماذا يمثّل استخدام الأداة ثقافة[*]

ماذا يوضّح هذا التركيز المذهل على استخدام الأداة في منطقة سواق في الوقت الذي لا تبدي فيه السعلاوات البرّية في أي مكان آخر مثل هذا الميل إلاّ قليلا؟ نحن نشتبه في أن هذه الحيوانات في منطقة سواق هي أكثر ذكاء بشكل فطري. فملاحظة كون معظم الافراد في الأسر من هذا النوع الحيواني يمكنها أن تتعلّم استخدام الأدوات إنما توحي بوجود مقدرة مخية أساسية للقيام بهذا العمل

ولذلك فكرنا أن بيئة هذه الحيوانات ربما تمتلك الجواب. فمعظم السعلاوات التي درست من قبل هي حيوانات تعيش في غابة جافة في حين يوافر المستنقع مونلا نضرا فريدا. إذ يصنع كثير من الحشرات أعشاشه هناك في ثقوب الشجر اكثر مما هي الحال في الغابات على أرض جافة. ولا ينمو شجر *النيسيا* إلاّ في الأمكنة الرطبة بالقرب من المياه الجارية عادة. ولكن مع هذا الاستهواء الذي تدل عليه تلك الصفات البيئية فإننا لا نعرف لماذا تتجاهل السعلاوات في مجموعات عديدة خارج منطقة سواق نفس مصادر الغذاء الغنية هذه جملة وتفصيلا.

(*) Why the Tool Use Is Cultural



كما لا نعرف لماذا تقوم بعض المجموعات من آكلة البذور بجني تلك البذور بدون أن تستخدم أدوات (مما ينتج منه بالطبع أنها تأكل أقل بكثير مما تأكله السعلاة في منطقة سواق) وينطبق الشيء نفسه على أدوات ثقوب الشجر، وأحيانا عندما تبدي التلال المجاورة - والتي يوجد بها غابات أرض جافة - غلة كثيفة من الثمار تذهب سعلاوات منطقة سواق إلى هناك للاستمتاع. وبينما هي تجمع الثمار تستخدم الأدوات لاستخراج محتويات ثقوب الشجر. ونشير إلى أن مونل التلة ميسور في جميع أرجاء المدى الجغرافي للسعلاة. وإذا كانت الأدوات تستخدم على سفوح التل فوق منطقة سواق، فلماذا لا تستخدم في كل مكان؟

ثمة اقتراح آخر درسناه وهو ينسجم مع المثل القديم بأن الحاجة أم الاختراع. ومفاده أن حيوانات منطقة سواق التي تعيش في مثل هذه الكثافة العددية تواجه منافسة كبيرة في تأمين الغذاء، الأمر الذي يبقي العديد من القرود بدون طعام ما لم تستطع الوصول إلى مصادر إمدادات شاقة تحتاج إلى أدوات للأكل. وتتمثل أقوى حجة ضد هذه الإمكانية في كون الأطعمة الحلوة أو الدسمة التي تيسرها هذه الأدوات تحتل موقعا عاليا جدا في قائمة أفضليات السعلاة. ولذلك لا بد للسعلاوات من أن تبحث عنها في أي مكان. فمثلا ترغب هذه القرود الحمراء في جميع الأمكنة لو يلسعها نحل العسل عدة مرات كي تصل إلى عسله، ومن ثم فإن فكرة الحاجة التي وردت في هذا المثل لا تصدق هنا.

وهناك إمكانية مختلفة تتمثل في أن هذه السلوكيات هي تقنيات مستحدثة ابتكرتها مجموعة من السعلاوات المهرة، ومن ثم انتشرت واستمرت في جمهور القرود لأن الأفراد الأخرى تعلمت هذه التقنية عبر مشاهدة تلك الأفراد الخبيرة. وفي كلمات أخرى، يُعَدُّ استخدام الأدوات أمرا ثقافيا. ونشير إلى عقبة رئيسية في دراسة **الثقافة** culture في الطبيعة تكمن في أننا، باستثناء المقدمات التجريبية، لا نستطيع مطلقا أن نقيم الدليل بشكل مقنع على أن الحيوان الذي ندرسه قد ابتكر حيلة ما جديدة، وليس مجرد تطبيقه لعادة يتذكرها جيدا ولكنها نادرة الحدوث. كما لا يمكننا أن نبرهن على أن فردا واحدا قد تعلم مهارة جديدة من فرد في مجموعة أخرى ولم يستنبطها بنفسه. ومع أننا نستطيع أن نبين أن السعلاوات في المختبر قادرة على الملاحظة والتعلم اجتماعيا، فإن هذه الدراسات لا تفيدنا شيئا حول الثقافة في الطبيعة، لا بخصوص توصيفها بشكل عام ولا بخصوص مقدار ما هو قائم من هذه الثقافة. ولذلك يجب على العاملين في الميدان أن يطوروا منظومة معايير لإيضاح ما إذا كان في سلوك معين ما قدر من أساس ثقافي.

ففي المقام الأول يجب أن يتنوع السلوك جغرافيا بحيث يوضح أنه تم ابتكاره في مكان ما. كما يجب أن يكون شائعا في المكان الذي تم العثور عليه بحيث يبين أنه سرى واستمر في الجماعة. وقد نجحت استخدامات الأداة في منطقة سواق بسهولة في هذين الرائزين الأوليين. أما الخطوة التالية فتتمثل في استبعاد التفسيرات البسيطة التي تخص تماثل الطراز المكاني بدون اشتراك التعلم الاجتماعي. وقد أسقطنا التفسير البيئي الذي **تتقارب** converge فيه أفراد معرضة لموئل معين باكتساب المهارة نفسها كل على حدة. ونستطيع كذلك استبعاد **الوراثيات** genetics لكون معظم السعلاوات المأسورة تستطيع تعلم استخدام الأدوات.

أما الرائز الثالث وهو الرائز الأقوى، فإنه يتمثل في أننا يجب أن نكون قادرين على العثور على توزيعات جغرافية للسلوك يمكن تفسيرها عبر الثقافة ولا يستطاع تفسيرها بسهولة عبر أي طريقة أخرى. وقد يتمثل أحد الأمثلة الرئيسية في وجود سلوك ما في مكان بعينه مع غياب ذلك السلوك خارج حاجز طبيعي يمنع انتشاره. وفي حالة السعلاوات المستخدمة للأدوات في منطقة سواق فإن التوزيع الجغرافي لشجر *النيسيا* قدم لنا **دالات** cleus حاسمة[1]: إذ توجد أشجار *النيسيا* (ومعها السعلاوات) على جانبي نهر الآس العريض Alas River. أما في مستنقع سنجكل Singkil الواقع جنوب منطقة سواق مباشرة وعلى الجانب نفسه من نهر الآس (*انظر الخريطة في الصفحة 75*) فقد وجدنا أدوات تتبعثر على الأرض في حين غابت هذه الأدوات بوضوح في مستنقع باتو-باتو على الطرف الآخر من النهر. وذلك رغم زياراتنا المتعددة في سنين مختلفة. لقد وجدنا في باتو-باتو العديد من الثمار اليانعة مبعثرة هنا وهناك: مما يوضح أن قرود السعلاة قد أكلت بذور أشجار *النيسيا* بالطريقة نفسها التي يأكل بها زملاؤها في مكان يطلق عليه اسم كانونك پالونك في بورنيو البعيدة. ولكنها طريقة مختلفة تماما عن طريقة أبناء عمومتها على الطرف الآخر من النهر في سنجكل.

تمثل باتو-باتو منطقة مستنقع صغير لا يحتوي على عدد كبير من غابات المستنقعات ذات النخبة، ومن ثم لا يوجد فيها سوى عدد محدود من السعلاوات. ونحن لا نعرف ما إذا كان استخدام الأدوات قد تم ابتكاره هناك أو ما إذا كان الاحتفاظ بهذا الاستخدام ممكنا لدى هذه الجماعة الصغيرة العدد، ولكننا متأكدون من أنه ما من سعلاوات هاجرت عبر النهر جالبة معها ذلك الاستخدام إلى هناك مطلقا. وذلك لأن نهر الآس عريض في هذه المنطقة لدرجة يستحيل معها عبور سعلاة ما. أما حيث يستطاع العبور عند أعالي النهر فإن أشجار *النيسيا* تنمو بشكل متفرق. بيد أن السعلاوات في تلك المنطقة تتجاهل تلك الأشجار تماما لكونها على ما يبدو لا تعي

(1) stringents



اوحت ثمرة شجرة *النيسيا* (*في الأسفل يسارا*) باداة مهمة اخرى في مسرح السعلاوات بمنطقة سواق. فهذه البذور ذات القيمة الغذائية العالية محاطة بإبر حادة كالموسى تجعلها خارج متناول الدببات الملتهمة للبذور. وكي تجتنب سعلاوات منطقة سواق الإبر المؤلمة فإنها تقلع غصينات مستقيمة قصيرة وتقشر لحاءها ثم تمسكها بالفم وتدخلها في شقوق موجودة على الثمرة الناضجة (*في اليمين*). وبتحريك هذه الأداة إلى الأعلى والأسفل داخل الشق تنزع السعلاة البذور دون أن تصاب بأذى. وتوضح الصورة في الوسط ثمرة صغيرة ما تزال الاداة بارزة منها.

خيرات هذه الأشجار الغنية. وبهذا فإن التأويل الثقافي يقصُر إلى حد كبير في تفسير التجاور غير المتوقع لمستخدمي الادوات ذوي المعرفة إلى جانب الباحثين عن الطعام على الطريقة البهيمية. وكذلك يقصُر في تفسير وجود الجهلاء على مبعدة منهم في أعالي النهر.

التقارب المتسامح(*)

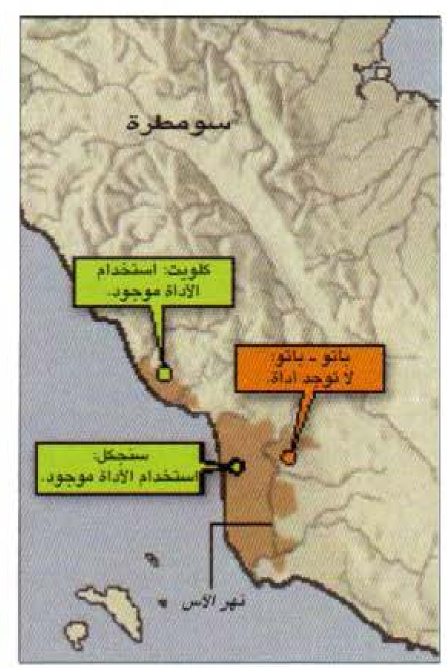
لماذا نرى هذه الأشكال البارعة لاستخدام الأداة في منطقة سواق ولا نراه في مكان آخر؟ وكيما نتفحّص هذا السؤال، قمنا أولا بمقارنة مفصلة بين جميع الأمكنة التي تعيش فيها السّعلاوات التي تمت دراستها. ووجدنا أنه حتى بعد أن استثنينا استخدام الأداة، بقيت منطقة سواق تحظى بأكبر عدد من ابتكارات انتشرت عبر جماعة السّعلاوات. وربما لا يكون هذا الاكتشاف أمرا **مضلّلا** artifact وقع به اهتمامنا الخاص في السلوكيات غير المعتادة. وذلك لأنه يتفق مع نتائج جهات أخرى خاضت مزيدا من العمل على يد باحثين متحمسين لاكتشاف ابتكارات سلوكية اجتماعية مكتسبة.

لقد توصّل حدسنا إلى أن الجماعات التي تكون أفرادها ذات فرص أكبر لمشاهدة الأفراد الأخرى أثناء الأداء قد تبدي تنوعا في المهارات المكتسبة يفوق ما تبديه جماعات تنال القليل من فرص التعلّم. فقد استطعنا في الواقع إثبات أن الأمكنة التي يقضي أفرادها وقتا أطول مع أفراد أخرى إنما تمتلك أرصدة مبتكرات مكتسبة أكبر ـ وهذه بالمناسبة علاقة تَصْدُق أيضا على الشمبانزي (*انظر الشكل في الصفحة 76*). ونشير هنا إلى أن هذه الصلة كانت الأقوى فيما يخصّ السلوك المرتبط بالطعام، وهو معقول لأن اكتساب مهارات تغذوية من أي فرد آخر أمرٌ يحتاج إلى مشاهدة أكثر إمعانا من مجرد تلقّف إشارة اتصال بائنة. وبكلمات أخرى نقول إن الحيوانات التي تخالط أفرادا أقل تعليما تمتلك رصيدا صغيرا من التشكيلات الثقافية المنوّعة، تماما مثل حال نموذج الشخص الريفي الغر.

حينما تفحّصنا عن قرب ما بين المواقع من تباينات لاحظنا شيئا آخر، ذلك أن صغار السّعلاة أينما كانت تمضي ما يزيد على 20 000 ساعة نهارية على اتصال وثيق بأمهاتها في صحبة متلهفة. ونشير إلى أننا رأينا كذلك في منطقة سواق وحدها أفرادا كبيرة تمضي قدرا مطوّلا من الوقت يستطعم بعضها بعضا. وعلى خلاف جماعات السّعلاوات الأخرى التي تمت دراستها حتى الآن، فإنها تأكل بانتظام نفس المفرد الغذائي، الذي عادة ما يتمثّل في الغصينات الناجمة عن نخر نمال الأرضة للأشجار. كما أنها تتشارك طعام لحم اللوريس المتثاقل على سبيل المثال. لقد سمح هذا التقارب والتسامح غير المعهود للكبار التي هي أقل مهارة بأن القرب الكافي لمشاهدة طرائق الاستطعام يحقق لها ما تحقق للصغار بنفس الحماس.

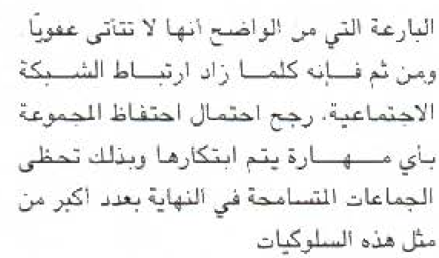
إن اكتساب الابتكارات الملحّة ذات الصفة المعرفية (مثل استخدامات الأداة الموجودة فقط في منطقة سواق) ربما يتطلّب زمن مواجهة مع أفراد ذات براعة مثلما يتطلب كذلك دورات من المشاهدة والتدريب. أما **التضمين** implication المدهش لهذا المطلب فإنه يتمثل في أن الولدان، على الرغم من كونها تتعلّم فعليّا جميع مهاراتها من أمهاتها، لا يجعل الجماعة تستطيع نشر مبتكرات معيّنة إلاّ إذا توافرت في المحيط نماذج تأهيل وظيفية أخرى غير الأمهات. فلو أن الأم كانت غير ماهرة فإن الولدان سوف تخالط أفرادا غير ذات خبرة، وسيبقى الصغير غير قادر على تعلّم التقنيات

(*) Tolerant Proximity





انهار صعبة الاجتياز ربما أعاقت انتشار استخدام الأداة. فعلى سبيل المثال، توجد السعلاوات على جانبي نهر الأس المتسع (انظر الصورة)، ولكن في مستنقع سنجكل (على الخريطة) تكثر الأدوات على أرض الغابة، في حين تستخدم السعلاوات المقيمة في مستنقع باتو - باتو على الطرف الآخر من النهر تقنية بسيطة لفتح بذور أشجار *النيسيا* لا تتضمن أدوات. إذ لا تستطيع أي سعلاوات مهاجرة إحضار استخدام الأداة معها إلى باتو - باتو لأن نهر الأس هناك أعرض من أن يسمح بعبور سعلاة خلاله.



البارعة التي من الواضح أنها لا تتأتى عفوياً. ومن ثم فإنه كلما زاد ارتباط الشبكة الاجتماعية، رجح احتمال احتفاظ المجموعة بأي مهارة يتم ابتكارها وبذلك تحظى الجماعات المتسامحة في النهاية بعدد أكبر من مثل هذه السلوكيات.

يبيّن لنا عملنا في البرية أن معظم التعلّم في الطبيعة - باستثناء **الإشراط** البسيط conditioning - قد يكون له مكون اجتماعي، على الأقل في الرئيسات. وبالمقابل فإن معظم التجارب المختبرية التي تبحث في كيفية تعلّم الحيوان تهدف إلى اكتشاف مقدرة الفرد على التعلّم الفردي. وفي الحقيقة إذا جرى عرض **ألغوزة** puzzle عالم نفس مختبرية في شروط طبيعية، حيث تتنافس أعداد كثيرة من المنبّهات في جذب الانتباه إليها، فإن الفرد المفحوص قد لا يدرك أبدا أن هناك مشكلة تنتظر الحل. أما في البرية فإن أفعال الأفراد ذات الدراية في مجتمعها تفيد في تركيز انتباه الحيوان العديم الدراية.

الجذور الثقافية للذكاء(٭)

توحي تحليلاتنا حول السعلاوات (الأورانج أوتان) أن الثقافة (بمعنى التعلم الاجتماعي لمهارات خاصة) لا تشجع الذكاء فقط، بل تعزّز أيضا تطوّر ذكاء، يتزايد أكثر فأكثر لدى الجماعة مع مرور الوقت. هذا وتتباين الأنواع الحيوانية المختلفة كثيرا في الآليات التي تمكّنها من التعلّم من غيرها. وتؤكد التجارب المنهجية قوة الانطباع الذي يحظى به الفرد من مشاهدة القرود الضخمة في البرية. فهذه القرود قادرة على التعلم عبر مراقبة ما يفعله غيرها. ومن ثم، حينما تكتسب السعلاة غير الأليفة، أو قرد أفريقي ضخم ما، سلوكا معقدا من الناحية المعرفية فإنها تكتسب هذه القابلية عبر مزيج من التعلم بالمشاهدة والممارسة الفردية، لشكل أشبه ما يكون لطفل بشري يجمع مهاراته (أو مهاراتها). وعندما اكتسبت سعلاة ما في منطقة سواق مزيدا من هذه الحيل يفوق ما اكتسبته أبناء عمومتها الأقل حظا في مكان آخر، فهي قد حققت ذلك بسبب ما حظيت به من فرص أكثر للتعلم الاجتماعي خلال حياتها. وباختصار يمكن أن يرقى التعلم الاجتماعي بالأداء الذهني للحيوان إلى مستوى أرفع.

ولتقدير أهمية **المدخولات** inputs الاجتماعية في تطور الذكاء المتنامي، دعنا نجري تجربة فكرية. تخيل شخصا يكبر بدون أي مدخولات اجتماعية مع كونه يتزوّد بجميع احتياجاته من مأوى وتغذية. إن هذا الوضع يكافئ الحالة التي لا يوجد فيها اتصال بين الأجيال أو الحالة التي تكفل فيها الصغار نفسها بعد مغادرتها العش. تخيل الآن أن بعض الإناث من هذا النوع الحيواني ابتكرت مهارة مفيدة - على سبيل المثال كيف تفتح جوزة كي تستخلص منها لبّها المغذي. سيكون أداؤها جيدا وربما أنجبت نسلا أكثر من غيرها في جماعتها. وما لم تنقل هذه المهارة إلى الجيل التالي فإن تلك المهارة سوف تختفي عند موتها.

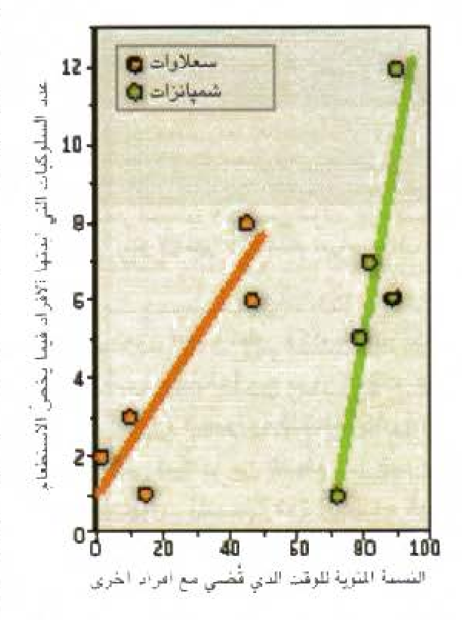
تخيل الآن حالة يرافق فيها النسل أمّه فترة من الزمن قبل أن ينفصل معتمدا على نفسه. ستتعلم غالبية الصغار التقنية الجديدة من أمهاتها وبذلك تنقلها مع ما يصاحبها من فوائد إلى الجيل اللاحق. ويمكن أن تحدث هذه العملية عموما بتطور بطيء، ومصاحبة طويلة بين واحد من الوالدين ونسله على الأقل. ولكن هذه العملية تحظى بتعزيز قوي إذا ما شكّل بضعة أفراد مجموعات ذات تسامح اجتماعي من هذا القبيل.

(٭) The Cultural Roots of Intelligence

نستطيع السير خطوة أبعد. فبالنسبة للحيوانات البطيئة النمو التي تعيش في مجتمعات متسامحة اجتماعيا يميل الانتقاء (الانتخاب) الطبيعي إلى إثابة كل مقدرة طفيفة على التعلم عبر المشاهدة أكثر مما يثيب زيادة مماثلة في المقدرة على الابتكار، وذلك لأنه في مثل هذا المجتمع قد يستطيع أحد الأفراد الوقوف على منجزات الأجيال الحالية والسابقة. وعندها نتوقع اتساع عملية تلقيم تقدُّمية تستطيع الحيوانات فيها أن تصبح أكثر ابتكارا وأن تطوِّر تقنيات أفضل للتعلم الاجتماعي، لأن كلتا المقدرتين تعتمد على آليات معرفية متشابهة، ومن ثم فإنَّ كَوْن النوع الحيواني مثقفا يسلحه بمقدرات ابتكارية تمكِّنه من التطور باتجاه ذكاء أعلى سوية، وهذا من ثم يقودنا إلى التفسير الجديد للتطور المعرفي.

ويبرِّر هذا الفرض الجديد ظاهرة محيرة مقابلة. ففي مرّات عديدة خلال القرن الماضي قام أناس بتربية أطفال قرود ضخمة على شاكلة تربيتهم أطفال البشر. وهنا اكتسب ما يدعى القرود المثقفة مجموعة مدهشة من المهارات تحاكي عفويا سلوكا معقدا (مثال فهم إشارات الدلالة، وحتى فَهْم بعض من لغة الإنسان وكذلك المزاح المَرِح وابتداع رسوم) وحديثا جدا، كشفت تجارب منهجية، مثل التجارب التي أجراها <E.> سو سافاج-رومبوت> [من جامعة ولاية جورجيا] والتي ضمَّت الشمبانزي المسمَّى «كانزي»، مقدرات لغوية مدهشة.[1] وتكشف هذه الحالات المتكررة بشكل مستديم، على الرغم من تكرار رفضها بسبب افتقارها للسند العلمي، عن إمكانات معرفية مذهلة تقبع هاجعة عند القرود الضخمة. ولئن كنا لا نستطيع تثمين تعقيد الحياة عاليا في الأدغال. فإنني أخمِّن أن هذه القرود المثقفة قد حظيت بمؤهلات مرموقة. وفي سيرورة كهذه تغلِّف قصة التطور البشري. يستطيع قرد ما يكبر مثلما يكبر الإنسان أن يبلغ قمما معرفية تفوق تلك التي يعيشها نظراؤه العاديون في البرِّية.

يحلُّ نفس خط التفكير الحيرة الطويلة الأمد حول سبب استخدام الرئيسات في الأسر captivity الأدوات بسهولة وحتى صنع هذه الأدوات أحيانا، في حين أن نظراءها في البرِّية يبدون مفتقرين إلى مثل هذه الحوافز. أما الاقتراح الذي غالبا ما يقال من أنها ليست بحاجة إلى أدوات إنما تناقضه مشاهدات على السَّعلاوات والشمبانزات والقرود المقلنسة تبين أن بعضا من استخدام الأداة هذا يتيح أغنى طعام في موائل الحيوان الطبيعية أو يغيث المخلوقات في الأزمان العجاف. وتنحل هذه المسألة المحيِّرة إذا أدركنا أن فردين من نفس النوع الحيواني يمكن أن يختلفا بصورة مثيرة في أدائهما الفكري حسب البيئة الاجتماعية التي كَبُرا فيها.



إن الجماعات التي تحظى أفرادها بفرص أكبر لمشاهدة الآخرين أثناء الأداء تبدي تنوعا أكبر بالمهارات المتعلَّمة إذا ما قورنت بالجماعات التي تتاح لها فرص أقل للتعلم، وتنطبق هذه العلاقة على الشمبانزي والسَّعلاة كليهما.

ونلخِّص السَّعلاوات هذه الظاهرة. فالسَّعلاوات يُعرف عنها أنَّها فنَّانات هاربة من عالم الحيوان فتحت أبواب أقفاصها بمهارة. ولكن المشاهدات المتاحة في البرِّية (على الرغم من مرور عقود من الرصد الكادح على أيدي مختصين ميدانيين) لم تكشف إلا عن القليل من النجاحات التقانية الثمينة خارج منطقة سواق. فالأفراد البرِّية المقبوض عليها ولا تعتبر في عداد الأفراد التي تعيش في الأسر. تحافظ دائما على خجلها الفطري وعلى شكها في البشر. أما القرود المولودة في حديقة الحيوان فإنها تعتبر القائمين على حراستها ورعايتها من البشر (بكل طيب خاطر) نماذج نفسية يُقتدى بها فتعير اهتمامها بأنشطتهم وبما يجري من حولهم، وبذلك تتجمَّع لديها مهارات متعددة.

إن النبوءة الحديَّة بنظرية **الذكاء عبر الثقافة** intelligence-through-culture تتمثَّل في أن الحيوانات الأكثر ذكاءً نرجح كذلك أنها تعيش في جماعات تتبنَّى فيها المجموعة كلها بشكل روتيني الابتكارات التي تُقدِّمها أفراد من المجموعة. ونشير إلى أن الحيوانات من **سلالات** lineages مختلفة تتباين كثيرا في حواسِّها وأساليب حياتها بحيث يصعب بشكل تقليدي إيجاد مقياس واحد للأداء الفكري. وكل ما نستطيعه في الوقت الحالي لا يتعدى السؤال إن كانت السلالة التي تبدي علامات ذكاء محقَّقة تمتلك ثقافات مبنية على الابتكار أم العكس بالعكس صحيح. إن خاصيَّة تعرُّف الفرد نفسه في المرآة، على سبيل المثال، أمر غير مفهوم تماما. لكنها علامة واضحة عن وعي الذات، الأمر الذي يعتبر دلالة على ذكاء عال. ولغاية الآن على الرغم من الدراسات الواسعة على سلالات عديدة فإن مجموعات الثدييات الوحيدة التي نجحت في هذا **الرائز** test هي القرود الكبيرة والدلافين. وهي الحيوانات ذاتها التي تستطيع تعلم وفهم عدة رموز تحكيمية والتي تبدي أقوى الأدلة على المحاكاة التي تمثِّل أساس الثقافة المبنيَّة على الابتكار. إن الاستخدام المرن لأدوات تعتمد على الابتكار والذي يُعدُّ تعبيرا آخر من الذكاء إنما يتمتع بتوزُّع عريض عند الثدييات: فالنسانيس والقرود والحوتيات والفيلة جميعها سلالات يشيع فيها التعلُّم الاجتماعي. وعلى الرغم من الاقتصار على الرائزات الفجَّة، فإنها بمجملها تدعم فرضية الذكاء عبر الثقافة.

وهناك نبوءة أخرى مهمَّة تتمثل في أن استعداديْ الابتكار والتعلُّم الاجتماعي لا بد أن يكونا قد تطوَّرا معا. وفي الواقع وجد <S. ريدر> [في جامعة أترخت بهولندا] و<K. لالاند> [في جامعة سانت أندروز باسكتلندا] أن أنواع الرئيسات التي تبدي أدلة أكثر على الابتكار هي تلك التي تبدي

(١) انظر "The Emergence of Intelligence" by William H. Calvin, Scientific American, October 1994.



تكون السَّعلاوات بالقرب من الساحل الغربي لسومطرة أكثر تجمُّعا بعضها إلى بعض من نظرائها القرود الحمراء التي تعيش في أي مكان آخر. وفي الصورة يافعان يبحث أحدهما على صحبة في كل فرصة محتملة.

أكبر الأدلة على التعلُّم الاجتماعي. وهناك مزيدٌ من الاختبارات غير المباشرة تستند إلى **ترابطات** correlations لدى الأنواع بين الحجم النسبي للمخ (بعد التصويب الإحصائي بالنسبة إلى حجم الجسم) وبين المتغيِّرين الاجتماعي والتنموي. أما الترابطات الراسخة بين الخاصيَّة الاجتماعية والحجم النسبي للمخ في مختلف مجموعات الثدييات فإنها تتفق مع هذه الفكرة.

وعلى الرغم من أن هذه الفرضية الجديدة غير كافية لتفسير سبب تفرُّد أسلافنا وحدهم من بين القردة الكبيرة بتطوير مثل هذا الذكاء الجامح، فإن المقدرة الإبداعية المتميزة لدى القرود الكبيرة في التجمُّعات ذات الثقافة الخصبة تجعل الفجوة تبدو أقل هولا. ويتضمَّن تفسير المسار التاريخي للتغيُّر تفاصيل عديدة يجب تأطيرها معا بشكل جاد انطلاقا من سجلات أحفورية متناثرة ومشوشة. ويظن العديد من الباحثين أن ثمَّة تغيرا رئيسيا يتمثل في غزو السافانا من قبل **الإنسان القديم** early Homo المتسلح بالجرأة وبالقدرة على صنع الأداة. فمن أجل استخراج درنات النبات وسلْخ اللحم واتقاء الأجساد الضخمة للثدييات، كان على هذا الإنسان أن يعمل بشكل جماعي وأن يبدع أدوات واستراتيجيات. وبناءً على ذلك عزَّزت هذه المتطلبات خاصيَّة الابتكار والاتكال المتبادل قُدُما مما أدى إلى تنامي الذكاء.

وما إن أصبحنا بشرا حتى بدأ التاريخ الثقافي **يتآثر** interact مع مقدرتنا الفطرية على تحسين الأداء. فمنذ ما يقرب من 150 000 عام تلت نشوء نوعنا الخاص كبشر انتشرت تعبيرات **الرمزية البشرية** human symbolism مثل الفن والآلات الموسيقية وطقوس الدفن [انظر: «*بدايات الفكر الحديث*»، **العلوم**، العدد 9 (2005)، ص 46]. ويدلُّ انفجار التقانة خلال العشرة آلاف سنة الماضية على أن المدخولات الثقافية تستطيع أن تطلق العنان لمنجزات غير محدودة انبعاثا من أدمغة زمن العصر الحجري. فالثقافة تستطيع في الواقع أن تبني عقلا جديدا من دماغ قديم. ■

المؤلف

Carel Van Schaik

هو مدير المعهد والمتحف الأنثروبولوجي في جامعة زيوريخ بسويسرا. وهو هولندي الأصل، حصل على الدكتوراه من جامعة أوترخت عام 1988. وبعد حصوله على منحة ما بعد الدكتوراه من جامعة برنستون ومنحة أخرى قصيرة من جامعة أوترخت ذهب إلى جامعة ديوك حيث عمل أستاذا لبيولوجيا علم الإنسان (الأنثروبولوجيا) إلى أن عاد إلى العالم القديم في عام 2004. أما كتابه بعنوان «بين السَّعلاوات: القرود الحمر ونشوء الثقافة البشرية» (مطبعة جامعة هارڤرد 2004) فإنه يعطي مزيدا من التفاصيل حول الأفكار التي تمّت تغطيتها في هذه المقالة.

مراجع للاستزادة

A Model for Tool-Use Traditions in Primates: Implications for the Coevolution of Culture and Cognition. C. P. van Schaik and G. R. Pradhan in *Journal of Human Evolution*, Vol. 44, pages 645–664; 2003.

Orangutan Cultures and the Evolution of Material Culture. C. P. van Schaik, M. Ancrenaz, G. Borgen, B. Galdikas, C. D. Knott, I. Singleton, A. Suzuki, S. S. Utami and M. Y. Merrill in *Science*, Vol. 299, pages 102–105; 2003.

Conformity to Cultural Norms of Tool Use in Chimpanzees. Andrew Whiten, Vicky Horner and Frans de Waal in *Nature* online; August 2005.

Scientific American, April 2006

مصافي النفط (البترول)
خَمْرَة الكربون(*)

إن **زيت التسخين** heating oil والبنزين و**الوقود النفاث** jet fuel وزيت الكاز (الكيروسين) والبلاستيك وغيرها هي منتجات تشتق من النفط الخام فيما يشبه صومعة حبوب كبيرة تطلق دخانا، حيث تصفى وتنقى خلال شبكة معقدة من الأنابيب والتجهيزات.

يحوي النفط الخام مئات من الهدروكربونات المختلفة. تقوم مصافي الولايات المتحدة بتحويل نصف كمية النفط الخام إلى بنزين ـ مزيج من الوقود ـ وفيه على الأخص 2-2-4 ثلاثي ميتيل البنتان 2,2,4 tri-methylpentane (ثماني ذرات كربون متسلسلة) والهيبتان heptane (سبع ذرات كربون). وكلما زاد تعقيد السلسلة أصبح الجزيء أكثر قابلية للانضغاط قبل أن يشتعل تلقائيا بسلاسة في المحرك (دون انفجار)، مما يسمح للآلة أن تعمل تحت نسبة ضغط عالية وتعطي بالتالي طاقة أكبر. ويتألف مزيج الاختبار لمعرفة رقم أوكتان البنزين بجمع 2-2-4 ثلاثي ميتيل البنتان والهيبتان (87 إلى 13 في المئة) ليعطي 87 أوكتان.

لقد اختبرت بعض المصافي فيما سبق إضافة بعض المواد لرفع رقم الأوكتان، مثل رابع إيتيل الرصاص كما في البنزين المرصص، لكنه استُبعد نظرا لتخريبه المحولات الحفازة المستخدمة لخفض الانبعاثات الغازية الملوثة للبيئة. وقد تحول المنتجون إلى استخدام ميتيل ثلاثي بوتيل إيتر (MTBE)، لكن عُزي إليه لاحقا تلويثه للمياه الجوفية، مما دعا الحكومات إلى منع استخدامه وحل الكحول الإيتلي كبديل يزداد استخدامه والذي يقدر أوكتانه بنحو 108 أو 110. ويسوق البنزين الذي يحوي 10% من الكحول (الإيثانول) باسم گازوهول gasohol.

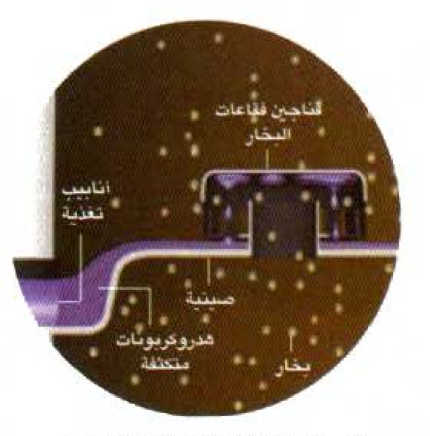
وفي الولايات المتحدة لم تُنشأ خلال ثلاثين عاما مصاف جديدة، وذلك بسبب معارضة الأهالي مجاورة هذه المصافي وبسبب التقييدات البيئية. ومع توسيع بعض المنشآت القائمة، يجري استثمار ما يزيد على 90 في المئة من طاقة المصافي على نطاق الولايات المتحدة الأمريكية، وذلك حسب رأي <H. شوبرت> [أستاذ علم الوقود ومدير معهد الطاقة في جامعة پنسلڤانيا]، حيث يقول: «إذا توقفت واحدة أو اثنتان من المصافي عن العمل، كما حصل خلال إعصار كاترينا، فسيكون هناك نقص في التكرير وسوف ترتفع الأسعار في محطات الوقود.»

ومع ذلك، لا يمكن توجيه اللوم إلى المصافي ـ كما حدث ـ عند الارتفاع الكبير في الأسعار؛ إذ إن إدارة معلومات الطاقة الأمريكية تحتسب 18 في المئة من السعر النهائي لعملية التكرير (يأتي 47 في المئة من ثمن النفط الخام و23 في المئة من الضرائب و12 في المئة من تكاليف التوزيع وتجار التجزئة). ويقول <شوبرت> إن أرباح المصافي هي عبارة عن بضعة سنتات للگالون الواحد، وهكذا فالربح المنخفض ومعارضة الأهالي لا تحفز الشركات كثيرا على استثمار بليوني دولار أو أكثر لبناء مصفاة نفط جديدة. ■

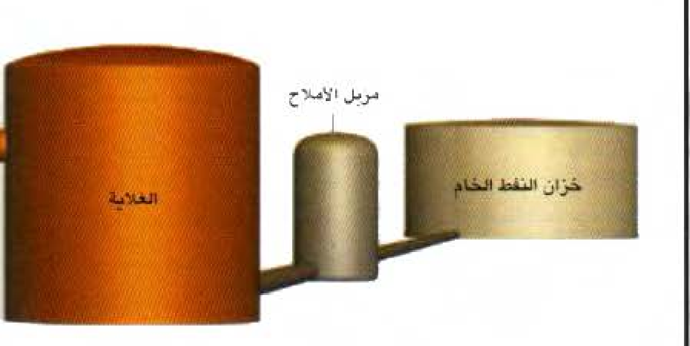
<M. فيشيتي>

(*) CARBON HOOCH

يُغلى النفط الخام في المصفاة وتدخل الأبخرة إلى عمود التقطير حيث ترتفع وتتكثف عندما تبرد إلى ما دون درجة غليانها. تتكاثف سلاسل الهدروكربونات الطويلة والمعقدة (أو ما يدعى بالقطفات) عند درجات حرارة عالية قرب قاع العمود، في حين تتكاثف سلاسل الهدروكربونات القصيرة والبسيطة عند درجة حرارة أخفض بالقرب من أعلى العمود. كما تستخدم عمليات ثانوية مثل التكسير والتحسين لتنقية إضافية للنواتج السائلة.

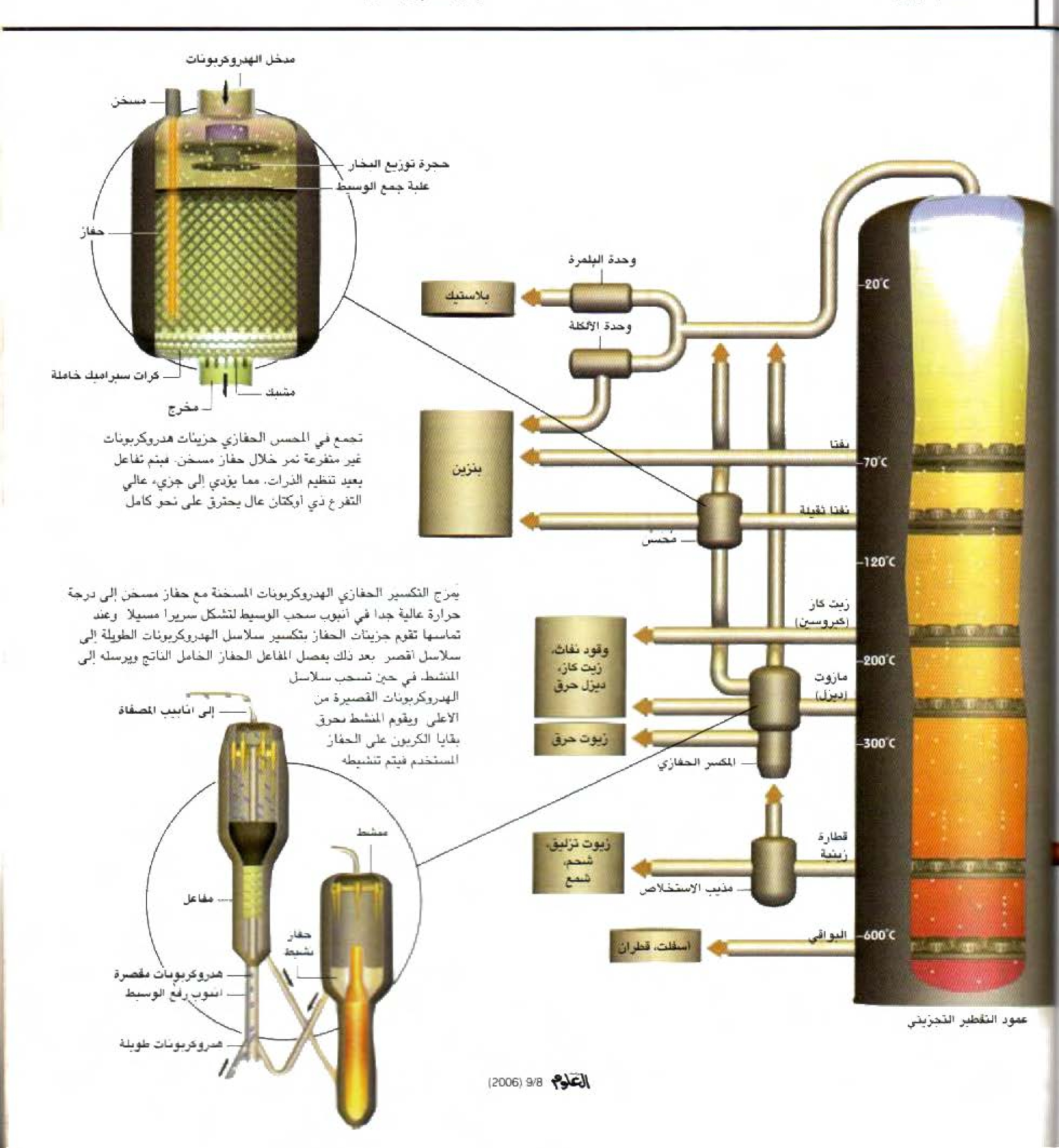


الصواني المثقبة تسمح للبخار بأن يصعد على شكل فقاعات حيث تتكثف وتسيل نحو أنابيب التغذية.



هل تعلم...

- عندما أصبح زيت الحوت المستخدم في مصابيح الإنارة نادرا نحو عام 1850، قام الكنديون بتحويل الزيت المتسرب إلى زيت كاز (كيروسين). كما قام الروس بحفر آبار نفط تجريبية، لكن لم تنطلق هذه الصناعة حتى عام 1859، عندما قام الصناعي <G. بيسل> بالتعاقد مع <E. دراك> لحفر بئر بالقرب من أويل كريك في بنسلفانيا الذي أنتج البارفين القابل للتقطير إلى كيروسين ومنتج ثانوي هو البنزين الذي أهمل ظنا أنه عديم الفائدة.
- كلمة واحدة ـ بلاستيك (لدائن). تحوي بعض أنواع النفط الخام بروپان وبوتان منحلين يتحرران عند قمة عمود التقطير. يحول البروپان بعدئذ إلى بروپيلين لاستخدامه في النسيج وتغليف الأطعمة وبعض مكونات السيارات ويحول البوتان إلى بوتادايين من أجل المطاط الصناعي. يصفى معظم الإتيلين.
- والبولي إتيلين الموجود في الحاويات البلاستيكية وفي التغليف، مصنع في مكسر حراري عند درجة حرارة عالية وضغط منخفض. يقوم المكسر بتفكيك الهدروكربونات على شكل زوج من ذرات الكربون في كل مرحلة. ويشرح ذلك <H. شوبرت> قائلا: «إن كل زوج ثنائي الارتباط هو جزيء إتيلين.»
- الأوپك (منظمة الأقطار المصدرة للنفط) مرة أخرى: تزداد طاقة التكرير بشكل كبير في أقطار أوپك حيث تتضمن المنشآت قيد التركيب في الكويت إنتاج 000 600 برميل في اليوم وفي المملكة العربية السعودية 000 450؛ كما تخطط الهند والصين وكوريا الجنوبية لنمو واسع في هذا المجال. وتعتزم الشركة Arizona Clean Fuels إنشاء مصفاة نفط باستطاعة 000 150 لكنها لم تحصل بعد على الموافقات اللازمة، كما لم تؤمن التمويل اللازم.



أخبار علمية

انقطاع التنفس الرّقادي(*)

إن الذين يموتون أثناء نومهم غالبا ما يُسجَّلون كحالات من القصور القلبي، ولكن يمكن أن يكون السبب الحقيقي أحيانا انقطاع التنفس **الرّقادي**(1) sleep apnea. لقد حقن باحثون ذيفانا عصبيا خلوي النوعية في ناحية صغيرة جدا من جذع الدماغ لدى الجرذان: أي فيما قبل **مجمع بوتزينكر** pre-Bötzinger complex، التي هي أساسية للتنفس. وبعد بضعة أيام أصيبت الجرذان بمشكلات تنفسية: أولا خلال النوم في **مرحلة تحرك العين السريع (الريم** REM) rapid eye movements، ثم امتدت هذه المشكلات إلى فترة النوم خارج فترة نوم الريم وفترة السهاد. لقد أشار باحثون في تقرير على الإنترنت لمجلة *Nature Neuroscience* في 2005/8/7، إلى أن انقطاعات في نظم التنفس تتكرر بصورة متزايدة بين الكهول وأولئك الذين يعانون اضطرابات عصبية تنكسية. ويخمن الباحثون أن نفاد هذه العصبونات بسبب المرض أو الشيخوخة، يفضي إلى انقطاع نَفس وخيم متزايد، يعجز معه الجسم في نهاية المطاف عن الاستيقاظ. ■

<*J. R. مينكل*>

(*) TAKE YOUR BREATH AWAY
(1) في أثناء النوم

أقد مما تتوهمه(*)

مع أن **الأدوية الغُفْل** placebos قد لا تكون سوى أدوية خادعة، فالفوائد التي يعتقد المرضى أنهم حصلوا عليها تبدو أكثر من كونها أوهاما. فقد قام علماء الأعصاب في جامعة ميتشيگان (آن آربر) وماريلاند بحقن الماء المالح في عضلات الفك لدى متطوعين شباب أصحاء بغية إحداث الألم لديهم، وأخبرهم الباحثون بعد ذلك أن **تنقيط** drips الماء المالح في الوريد قد يسكِّن الألم، وطلبوا إليهم أن يسجلوا كل 15 ثانية شدة الألم التي يشعرون بها وفقا لسلم مدرج من الصفر إلى المئة. وقد كشفت **مسوح (تفاريس)** scans الدماغ أن الباحات العصبية ذات الصلة بالاستجابة للألم والكرب والمكافأة والانفعال، حررت **الإندورفينات** endorphins: مسكنات تسلك سلوك الأفيونيات. وقد توافقت استجابة الإندورفين زمنيا مع انخفاض شدة الألم والشعور بعدم الارتياح وذلك حسب تقرير المتطوعين. وقد نشرت نتائج هذا البحث في مجلة «*جورنال أوف نورو سيانس*» (*مجلة العلوم العصبية*) بتاريخ 2005/8/24. ويخطط الباحثون لتقصي هذا التأثير عند النساء والمرضى الذين يعانون آلاما مزمنة. ■

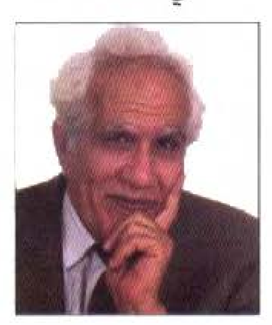
<*C. Q. شوا*>

(*) USE YOUR IIIUSION

إنا لله وإنا إليه راجعون

أ.د. أحمد مستجير مصطفى

في ذمة الله



بخالص العزاء وعظيم المواساة تنعى مجلة *العلوم* لقرائها الكرام الأستاذ الدكتور **أحمد مستجير مصطفى**، الذي كان - رحمه الله - أحد مترجمي ومراجعي مقالاتها، والذي وافاه الأجل عن عمر يناهز 72 عاما.

لقد عاش الفقيد حياته العلمية باحثا ومدرسا وخبيرا، وتولى عددا من المناصب الأكاديمية والرسمية في بلده مصر. كان آخرها عميدا لكلية الزراعة - جامعة القاهرة، منذ عام 1986.

حصل المرحوم على عدة جوائز وأوسمة تقديرية، منها جائزة أفضل كتاب علمي مترجم - وذلك عام 1993. وله عدة مؤلفات في الأدب وفي مجال التحسين الوراثي للحيوانات وترجم مجموعة كبيرة من المؤلفات في مجال العلوم والفلسفة والأدب.

يعد المرحوم أحد أهم العلماء العرب في مجال الهندسة الوراثية، وكان يلقب «أبو الهندسة الوراثية». ومن أهم إنجازاته مشروعه العلمي الكبير الذي أطلق عليه مشروع «زراعة الفقراء» لاستنباط سلالات من القمح والأرز تتحمل درجات عالية من الملوحة والجفاف.

كان المرحوم عضوا في الأكاديمية العالمية للعلوم والفنون بسان فرانسيسكو واتحاد الكتاب العرب ومجمع اللغة العربية والجمعية المصرية لعلوم الإنتاج الحيواني.

وكان الفقيد يلقب بـ«الأديب المتنكر في صورة عالم» لتعدد إسهاماته في أكثر من ميدان علمي وأدبي وإنساني.

ومن أبرز جهوده الأدبية كتاباته في عروض الشعر، وضع في إحداها نظرية علمية رياضياتية لدراسة عروض الشعر العربي وإيقاعاته الموسيقية أودعها في كتابه «مدخل رياضياتي إلى عروض الشعر العربي».

لفقيدنا - إن شاء الله - أجر العلماء الأخيار، ولأسرته ومحبيه وأصدقائه الكثيرين خالص العزاء وصادق المواساة.